

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESP. MECÁNICA**



PROYECTO DE FIN DE CARRERA

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA
PARA EL DIMENSIONADO DE
UNIONES DE UN SOLO PASADOR**

Autor: Joaquín Reis Sánchez-Castañer

Tutor: Daniel García Pozuelo Ramos

Marzo 2009

ÍNDICE

<u>1. INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>11</u>
<u>2. OBJETIVOS</u>	<u>12</u>
<u>3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....</u>	<u>15</u>
<u>4. ESTADO DEL ARTE</u>	<u>16</u>
4.1. FUNCIÓN DE LA UNIÓN	21
4.1.1. ESTÁTICA VS. ROTATIVA.....	21
4.1.2. AUTOALINEABLES VS. NO AUTOALINEABLES	21
4.2. TOLERANCIAS DE AJUSTE	22
4.3. DURABILIDAD.....	23
4.3.1. CONTROL DE FALLO.....	23
4.3.2. LUBRICACIÓN	24
4.3.3. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	25
4.3.4. REPARABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y DESGASTES ADMISIBLES.....	26
4.4. TIPOS DE CONFIGURACIÓN	27
4.4.1. UNIÓN AUTOALINEABLE DESLIZANTE SIN GIRO DE BULÓN.....	28
4.4.2. UNIÓN AUTOALINEABLE PINZADA EN UNA OREJETA	30
4.5. RÓTULAS	32
4.5.1. GENERALIDADES.....	32
4.5.2. SELECCIÓN DE RÓTULAS	33
4.5.3. INSTALACIÓN DE RÓTULAS.....	34
4.5.4. REPARABILIDAD	36
4.6. CASQUILLOS.....	37
4.6.1. GENERALIDADES:	37
4.6.2. TIPOS DE CASQUILLOS.....	38
4.6.3. INSTALACIÓN DE CASQUILLOS	39
4.6.4. REPARABILIDAD	43
4.6.5. DIMENSIONADO DE CASQUILLOS	44
4.6.6. REPRESENTACIÓN DE CASQUILLOS PLANOS:.....	46
4.6.7. REPRESENTACIÓN DE CASQUILLOS CON FALDILLA:	46
4.7. BULONES	47
4.7.1. GENERALIDADES.....	47
4.7.2. INSTALACIÓN DE BULONES.....	48
4.7.3. REPARABILIDAD	48
4.8. TUERCAS ALMENADAS	49
4.8.1. GENERALIDADES.....	49
4.8.2. INSTALACIÓN DE TUERCAS.....	49
4.8.3. REPARABILIDAD	50
4.9. ARANDELAS.....	51
4.9.1. GENERALIDADES.....	51

4.9.2.	INSTALACIÓN DE ARANDELAS	51
4.9.3.	REPARABILIDAD	52
4.10.	PASADORES	53
4.10.1.	GENERALIDADES	53
4.10.2.	INSTALACIÓN DEL PASADOR PARA PIEZAS NO ROTATORIAS	54
4.10.3.	REPARABILIDAD	54
4.11.	HERRAJES.....	55
4.11.1.	GENERALIDADES	55
4.11.2.	DIMENSIONADO DE OREJETAS.....	58

5. DESARROLLO 60

5.1.	MÉTODO	60
5.2.	NORMA CASQUILLOS.....	64
5.2.1.	CÓDIGO DE DESIGNACIÓN DEL CASQUILLO	64
5.3.	UNIONES DESLIZANTES	72
5.3.1.	RÓTULA.....	76
5.3.2.	CASQUILLO PLANO.....	79
5.3.3.	CASQUILLO CON FALDILLA CAN 64202.....	82
5.3.4.	BULÓN.....	85
5.3.5.	TUERCA ALMENADA	93
5.3.6.	ARANDELAS	95
5.3.7.	PASADOR	98
5.4.	UNIONES PINZADAS EN UNA OREJETA.....	102
5.4.1.	RÓTULA.....	107
5.4.2.	CASQUILLO PLANO.....	110
5.4.3.	CASQUILLO CON FALDILLA CAN64202.....	113
5.4.4.	CASQUILLO CON FALDILLA CAN64201.....	116
5.4.5.	BULÓN.....	119
5.4.6.	TUERCA ALMENADA	127
5.4.7.	ARANDELAS	129
5.4.8.	PASADOR	132

6. CONCLUSIONES 136

7. DESARROLLOS FUTUROS..... 137

8. BIBLIOGRAFÍA 140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nota técnica del A-400M	13
Figura 2 Gráfico de tiempos estimados	13
Figura 3 Unión deslizante y pinzada en una orejeta	16
Figura 4 Estructura no sometida a deformaciones	17
Figura 5 Detalle estructura no sometida a deformaciones	18
Figura 6 Estructura sometida a deformaciones (azul oscuro)	18
Figura 7 Zoom estructura sometida a deformaciones (azul oscuro)	18
Figura 8 Unión pinzada y deslizante en estructura deformada	19
Figura 9 Detalle unión pinzada	19
Figura 10 Detalle unión deslizante	20
Figura 11 Tolerancias de ajuste del agujero	22
Figura 12 Tolerancias de ajuste del eje	22
Figura 13 Partes de la unión deslizante	28
Figura 14 Vista 3D unión deslizante	28
Figura 15 Partes de la unión pinzada	30
Figura 16 Vista 3D de la unión pinzada	30
Figura 17 Vista 3D rótula	32
Figura 18 Tipos de instalaciones de las rótulas	34
Figura 19 Zoom ranura de prensado	35
Figura 20 Vista 3D tipos de casquillos	37
Figura 21 Altura crítica de casquillo	37
Figura 22 Instalación casquillos por interferencia	39
Figura 23 Aplicación de sellante en instalación por interferencia	40
Figura 24 Instalación casquillos con juego	43
Figura 25 Diámetros de sobremedidas	43
Figura 26 Dimensiones casquillo	44
Figura 27 Representación casquillos planos	46
Figura 28 Representación casquillos con faldilla	46
Figura 29 Vista 3D bulón	47
Figura 30 Instalación bulones con juego	48
Figura 31 Vista 3D tuerca almenada	49
Figura 32 Vista 3D arandela	51
Figura 33 Vista 3D pasador	53
Figura 34 Vista 3D herrajes	55
Figura 35 Dimensionado de la orejeta	58
Figura 36 Tipos de ajuste de las uniones	61
Figura 37 Holgura entre rótula y bulón	62
Figura 38 Ajuste esquemático H7/g6	63
Figura 39 Ajuste esquemático H7/g6 desplazado	63
Figura 40 Dimensiones casquillo CAN64201	65
Figura 41 Holgura maxima permitida	66
Figura 42 Dimensiones casquillo CAN64202	67
Figura 43 Holgura maxima permitida	68
Figura 44 Dimensiones casquillo CAN64203	69
Figura 45 Longitud casquillo vs espesor orejeta	71
Figura 46 Longitud doble casquillo vs espesor orejeta	71
Figura 47 Vistas 3D unión deslizante	72

Figura 48 Partes de la unión deslizante	73
Figura 49 Vista general programa para uniones deslizantes	74
Figura 50 Datos iniciales para dimensionado unión deslizante.....	75
Figura 51 Dimensiones de la rótula.....	76
Figura 52 Distancia entre orejetas	77
Figura 53 Dimensiones casquillo plano	79
Figura 54 Longitud casquillo plano.....	80
Figura 55 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202.....	82
Figura 56 Longitud casquillo con faldilla CAN64202	83
Figura 57 Dimensiones bulón.....	85
Figura 58 Longitud caña bulón.....	86
Figura 59 GAP máximo.....	87
Figura 60 GAP máximo con arandela	87
Figura 61 Longitud rosca bulón.....	88
Figura 62 Distancia máxima agujero de frenado.....	89
Figura 63 Distancia mínima agujero de frenado	90
Figura 64 Intervalos para A.F.....	91
Figura 65 Dimensiones tuerca almenada.....	93
Figura 66 Dimensiones arandela	95
Figura 67 Dimensiones pasador	98
Figura 68 Vista 3D pasador	99
Figura 69 Inserción correcta pasador.....	100
Figura 70 Longitud incorrecta pasador.....	100
Figura 71 Vistas 3D unión pinzada en una orejeta.....	102
Figura 72 Partes de la unión pinzada en una orejeta	103
Figura 73 Vista general programa para uniones pinzadas en una orejeta	104
Figura 74 Datos iniciales para dimensionado unión pinzada en una orejeta.....	105
Figura 75 Dimensiones de la rótula.....	107
Figura 76 Distancia entre orejetas	108
Figura 77 Dimensiones casquillo plano	110
Figura 78 Longitud casquillo plano.....	111
Figura 79 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202.....	113
Figura 80 Longitud casquillo con faldilla CAN64202	114
Figura 81 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64201	116
Figura 82 Longitud casquillo con faldilla CAN64201	117
Figura 83 Dimensiones bulón.....	119
Figura 84 Longitud caña bulón.....	120
Figura 85 GAP máximo.....	121
Figura 86 GAP máximo con arandela	121
Figura 87 Longitud rosca bulón.....	122
Figura 88 Distancia máxima agujero de frenado.....	123
Figura 89 Distancia mínima agujero de frenado	124
Figura 90 Intervalos para A.F.....	125
Figura 91 Dimensiones tuerca almenada.....	127
Figura 92 Dimensiones arandela	129
Figura 93 Dimensiones pasador	132
Figura 94 Vista 3D pasador	133
Figura 95 Longitud correcta pasador.....	134
Figura 96 Longitud incorrecta pasador.....	134
Figura 98 Unión autoalineable pinzada en las dos orejetas.....	137

Figura 99 Unión no autoalineable deslizante	137
Figura 100 Unión no autoalineable pinzada en una orejeta.....	138
Figura 101 Unión no autoalineable pinzada en las dos orejetas.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Uniones pinzadas vs no pinzadas	17
Tabla 2 Autoalineable vs no autoalineable.....	21
Tabla 3 Tipos de lubricación	24
Tabla 4 Protecciones recomendadas.....	25
Tabla 5 Tipos de rótulas	32
Tabla 6 Material de las rótulas	33
Tabla 7 Rótula laminada vs alojamiento laminado	36
Tabla 8 Temperaturas para instalación por calentamiento del alojamiento	41
Tabla 9 Temperaturas para instalación por enfriamiento del casquillo.....	42
Tabla 10 Diámetro exterior casquillo plano	44
Tabla 11 Diámetro exterior casquillo con faldilla	44
Tabla 12 Altura de la faldilla	44
Tabla 13 Espesor de la faldilla	44
Tabla 14 Materiales y protecciones del herraje	56
Tabla 15 Tolerancias rótula	61
Tabla 16 Ajuste H7/g6.....	62
Tabla 17 Código de designación del casquillo	64
Tabla 18 Ejemplo código de designación del casquillo	64
Tabla 19 Tipos de casquillos	64
Tabla 20 Dimensiones casquillo CAN64201	65
Tabla 21 Holgura máxima permitida.....	66
Tabla 22 Dimensiones casquillo CAN64202	67
Tabla 23 Holgura maxima permitida.....	68
Tabla 24 Dimensiones casquillo CAN64203	69
Tabla 25 Material casquillos	70
Tabla 26 Protección casquillos	70
Tabla 27 Datos iniciales para dimensionado unión deslizante	75
Tabla 28 Dimensiones de la rótula	76
Tabla 29 Distancia entre orejetas hembra y Dint orejeta.....	77
Tabla 30 Selección laminación y protección rótula.....	78
Tabla 31 Laminación y protecciones rótula	78
Tabla 32 Norma rótula.....	78
Tabla 33 Códigos de la norma de la rótula.....	78
Tabla 34 Dimensiones casquillo plano.....	79
Tabla 35 Longitud casquillo plano	80
Tabla 36 Selección material y protección casquillo plano	81
Tabla 37 Materiales y protecciones casquillo plano.....	81
Tabla 38 Norma casquillo plano.....	81
Tabla 39 Códigos de la norma del casquillo plano.....	81
Tabla 40 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202	82
Tabla 41 Longitud casquillo con faldilla CAN64202	83
Tabla 42 Selección material y protección casquillo con faldilla CAN64202.....	84
Tabla 43 Materiales y protecciones casquillo con faldilla CAN64202	84
Tabla 44 Norma casquillo con faldilla CAN64202	84
Tabla 45 Códigos de la norma del Casquillo con faldilla CAN64202	84
Tabla 46 Dimensiones bulón	85
Tabla 47 Longitud caña bulón	86

Tabla 48 GAP máximo	87
Tabla 49 Longitud rosca bulón	88
Tabla 50 Posicionamiento agujero de frenado	92
Tabla 51 Norma bulón	92
Tabla 52 Dimensiones tuerca almenada	93
Tabla 53 Selección material y protección tuerca almenada	94
Tabla 54 Materiales y protecciones tuerca almenada	94
Tabla 55 Norma tuerca almenada	94
Tabla 56 Códigos de designación tuerca almenada	94
Tabla 57 Dimensiones arandela	95
Tabla 58 Espesores arandelas	96
Tabla 59 Selección material y protección arandelas	97
Tabla 60 Materiales y protecciones arandelas	97
Tabla 61 Norma arandelas	97
Tabla 62 Códigos de designación arandelas	97
Tabla 63 Dimensiones pasador	98
Tabla 64 Tamaño de agujero recomendado	99
Tabla 65 Longitud estimada pasador	100
Tabla 66 Longitud pasador	100
Tabla 67 Norma pasador	101
Tabla 68 Código de designación pasador	101
Tabla 69 Datos iniciales para dimensionado unión pinzada en una orejeta	106
Tabla 70 Dimensiones de la rótula	107
Tabla 71 Distancia entre orejetas hembra y Dint orejetas	108
Tabla 72 Selección laminación y protección rótula	109
Tabla 73 Laminación y protecciones rótula	109
Tabla 74 Norma rótula	109
Tabla 75 Códigos de la norma de la rótula	109
Tabla 76 Dimensiones casquillo plano	110
Tabla 77 Longitud casquillo plano	111
Tabla 78 Selección material y protección casquillo plano	112
Tabla 79 Materiales y protecciones casquillo plano	112
Tabla 80 Norma casquillo plano	112
Tabla 81 Códigos de la norma del casquillo plano	112
Tabla 82 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202	113
Tabla 83 Longitud casquillo con faldilla CAN64202	114
Tabla 84 Selección material y protección casquillo con faldilla CAN64202	115
Tabla 85 Materiales y protecciones casquillo con faldilla CAN64202	115
Tabla 86 Norma casquillo con faldilla CAN64202	115
Tabla 87 Códigos de la norma del Casquillo con faldilla CAN64202	115
Tabla 88 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64201	116
Tabla 89 Longitud casquillo con faldilla CAN64201	117
Tabla 90 Selección material y protección casquillo con faldilla CAN64201	118
Tabla 91 Materiales y protecciones casquillo con faldilla CAN64201	118
Tabla 92 Norma casquillo con faldilla CAN64201	118
Tabla 93 Códigos de la norma del casquillo con faldilla CAN64201	118
Tabla 94 Dimensiones bulón	119
Tabla 95 Longitud caña bulón	120
Tabla 96 GAP máximo	121
Tabla 97 Longitud rosca bulón	122

Tabla 98 Posicionamiento agujero de frenado	126
Tabla 99 Norma bulón	126
Tabla 100 Dimensiones tuerca almenada	127
Tabla 101 Selección material y protección tuerca almenada	128
Tabla 102 Materiales y protecciones tuerca almenada	128
Tabla 103 Norma tuerca almenada	128
Tabla 104 Código de designación tuerca almenada	128
Tabla 105 Dimensiones arandela	129
Tabla 106 Espesores arandelas	130
Tabla 107 Selección material y protección arandelas	131
Tabla 108 Materiales y protecciones arandelas	131
Tabla 109 Norma arandelas	131
Tabla 110 Códigos de designación norma arandelas	131
Tabla 111 Dimensiones pasador	132
Tabla 112 Tamaño agujero recomendado	133
Tabla 113 Longitud estimada pasador	134
Tabla 114 Longitud pasador	134
Tabla 115 Norma pasador	135
Tabla 116 Código de designación norma pasador	135

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	55
Ecuación 2	56
Ecuación 3	56
Ecuación 4	56
Ecuación 5	58
Ecuación 6	58
Ecuación 7	58
Ecuación 8	58
Ecuación 9	59
Ecuación 10	59
Ecuación 11	59
Ecuación 12	59
Ecuación 13	59
Ecuación 14	71
Ecuación 15	71
Ecuación 16	71
Ecuación 17	71
Ecuación 18	77
Ecuación 19	77
Ecuación 20	80
Ecuación 21	83
Ecuación 22	86
Ecuación 23	87
Ecuación 24	87
Ecuación 25	88
Ecuación 26	89
Ecuación 27	89
Ecuación 28	100
Ecuación 29	108
Ecuación 30	108
Ecuación 31	108
Ecuación 32	111
Ecuación 33	114
Ecuación 34	117
Ecuación 35	120
Ecuación 36	121
Ecuación 37	121
Ecuación 38	122
Ecuación 39	123
Ecuación 40	123
Ecuación 41	134

1. INTRODUCCIÓN

Para permitir el movimiento relativo entre dos elementos, en el mundo del diseño mecánico se introdujeron las uniones, que se fueron perfeccionando con el tiempo adecuando su diseño al trabajo requerido en cada caso.

Las uniones mecánicas son una parte fundamental del diseño de máquinas, y los más simples acoplamientos no fueron inventados, ni siquiera entendidos, hasta el siglo XIX. Toma en cuenta una simple barra: tiene seis grados de libertad, tres de los cuales son las coordenadas de su centro en el espacio, los otros tres describen su rotación. Una vez unido entre un bloque de piedra y un punto de apoyo realiza un movimiento particular, actuando como una palanca para mover el bloque. Movimientos muy complicados y precisos pueden ser diseñados en un acoplamiento con sólo unas piezas.

La Revolución Industrial fue la época de oro de las uniones mecánicas. Los avances en matemáticas, ingeniería, y fabricación proveyeron tanto la necesidad como la habilidad de crear nuevos mecanismos. Muchos mecanismos simples que parecen obvios hoy en día, requirieron algunas de las más brillantes mentes de esa era para crearlos. Inclusive la habilidad de un mecanismo para producir un movimiento lineal preciso, sin una guía de referencia, tomó años en solucionarse.

Diversos científicos, principalmente alemanes, rusos e ingleses, han investigado este ámbito los últimos 200 años, haciendo avanzar el análisis tradicional hasta solucionar la mayor parte de los problemas de síntesis.

La tecnología electrónica de hoy en día ha convertido en habituales muchas aplicaciones de acoplamiento mecánico, tales como la computación mecánica y la maquinaria. De todos modos, los diseños modernos de acoplamiento mecánico continúan avanzando, y los diseños que ocupaban a un ingeniero por días, hoy pueden ser optimizados por una computadora en segundos.

Dentro del campo de la aeronáutica las uniones también han sufrido múltiples cambios, comenzando por ser una simple unión de dos elementos con un movimiento relativo entre ellos, han pasado a ser uniones complejas compuestas por múltiples elementos para facilitar su movimiento y su reparabilidad. Para ello se diseñaron entre otras, las uniones deslizantes y las uniones pinzadas en una orejeta, cuya función principal era la de absorber y transmitir cargas laterales.

URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Acoplamiento_Mec%C3%A1nico.

Fecha de última revisión: 19/02/2009

2. OBJETIVOS

La realización de este proyecto persigue la definición de todos y cada uno de los elementos que componen las uniones deslizantes y las pinzadas en una orejeta. Estas uniones son las más habituales en aquellas zonas en las que aparece un movimiento relativo entre los dos elementos que componen la unión y que están sometidas a pequeñas deformaciones (En un avión: Timón del HTP, flaps y spoilers del ala, etc.)

Se diseñará y realizará un programa que permita dimensionar y estandarizar uniones deslizantes y pinzadas en una orejeta. En dicho programa se introducirán una serie de parámetros variables, a partir de los cuales se definirán automáticamente todas las dimensiones de los elementos que intervienen en la unión. A partir de esta serie de parámetros variables se obtendrán unas normas de régimen interno de EADS-CASA que posteriormente se entregarían al distribuidor para comprar las piezas. Para su desarrollo se utilizará el programa informático Excel.

Dentro de este mismo programa se podrán definir también los materiales, protecciones, etc. que podrían ser utilizados en cada uno de los elementos de construcción que forman parte de esta unión según lo requiera el diseñador.

Previamente al diseño de este programa, el dimensionado y la selección de los estándares de los elementos que conformaban las uniones se realizaba de manera individual. Esto implicaba para el diseñador el trabajo de tener que mirar una por una todas las uniones necesarias, con el correspondiente coste económico y horas de trabajo adicionales.

Para ello se tenía que mirar en una nota técnica cada una de las piezas a utilizar en la unión y seleccionar la norma más adecuada (Ej: Nota técnica del A400M. NT-A4-ANC-03050):

ROTULAS

BULONES

TUERCAS

ARANDELAS

Modelo	Forma	Material	Resistencia	Temperatura	Medida	Características	Aplicaciones	Observaciones
Modelo 1	Forma 1	Material 1	Resistencia 1	Temperatura 1	Medida 1	Características 1	Aplicaciones 1	Observaciones 1
Modelo 2	Forma 2	Material 2	Resistencia 2	Temperatura 2	Medida 2	Características 2	Aplicaciones 2	Observaciones 2
Modelo 3	Forma 3	Material 3	Resistencia 3	Temperatura 3	Medida 3	Características 3	Aplicaciones 3	Observaciones 3
Modelo 4	Forma 4	Material 4	Resistencia 4	Temperatura 4	Medida 4	Características 4	Aplicaciones 4	Observaciones 4
Modelo 5	Forma 5	Material 5	Resistencia 5	Temperatura 5	Medida 5	Características 5	Aplicaciones 5	Observaciones 5
Modelo 6	Forma 6	Material 6	Resistencia 6	Temperatura 6	Medida 6	Características 6	Aplicaciones 6	Observaciones 6
Modelo 7	Forma 7	Material 7	Resistencia 7	Temperatura 7	Medida 7	Características 7	Aplicaciones 7	Observaciones 7
Modelo 8	Forma 8	Material 8	Resistencia 8	Temperatura 8	Medida 8	Características 8	Aplicaciones 8	Observaciones 8
Modelo 9	Forma 9	Material 9	Resistencia 9	Temperatura 9	Medida 9	Características 9	Aplicaciones 9	Observaciones 9
Modelo 10	Forma 10	Material 10	Resistencia 10	Temperatura 10	Medida 10	Características 10	Aplicaciones 10	Observaciones 10
Modelo 11	Forma 11	Material 11	Resistencia 11	Temperatura 11	Medida 11	Características 11	Aplicaciones 11	Observaciones 11
Modelo 12	Forma 12	Material 12	Resistencia 12	Temperatura 12	Medida 12	Características 12	Aplicaciones 12	Observaciones 12
Modelo 13	Forma 13	Material 13	Resistencia 13	Temperatura 13	Medida 13	Características 13	Aplicaciones 13	Observaciones 13
Modelo 14	Forma 14	Material 14	Resistencia 14	Temperatura 14	Medida 14	Características 14	Aplicaciones 14	Observaciones 14
Modelo 15	Forma 15	Material 15	Resistencia 15	Temperatura 15	Medida 15	Características 15	Aplicaciones 15	Observaciones 15
Modelo 16	Forma 16	Material 16	Resistencia 16	Temperatura 16	Medida 16	Características 16	Aplicaciones 16	Observaciones 16
Modelo 17	Forma 17	Material 17	Resistencia 17	Temperatura 17	Medida 17	Características 17	Aplicaciones 17	Observaciones 17
Modelo 18	Forma 18	Material 18	Resistencia 18	Temperatura 18	Medida 18	Características 18	Aplicaciones 18	Observaciones 18
Modelo 19	Forma 19	Material 19	Resistencia 19	Temperatura 19	Medida 19	Características 19	Aplicaciones 19	Observaciones 19
Modelo 20	Forma 20	Material 20	Resistencia 20	Temperatura 20	Medida 20	Características 20	Aplicaciones 20	Observaciones 20
Modelo 21	Forma 21	Material 21	Resistencia 21	Temperatura 21	Medida 21	Características 21	Aplicaciones 21	Observaciones 21
Modelo 22	Forma 22	Material 22	Resistencia 22	Temperatura 22	Medida 22	Características 22	Aplicaciones 22	Observaciones 22
Modelo 23	Forma 23	Material 23	Resistencia 23	Temperatura 23	Medida 23	Características 23	Aplicaciones 23	Observaciones 23
Modelo 24	Forma 24	Material 24	Resistencia 24	Temperatura 24	Medida 24	Características 24	Aplicaciones 24	Observaciones 24
Modelo 25	Forma 25	Material 25	Resistencia 25	Temperatura 25	Medida 25	Características 25	Aplicaciones 25	Observaciones 25
Modelo 26	Forma 26	Material 26	Resistencia 26	Temperatura 26	Medida 26	Características 26	Aplicaciones 26	Observaciones 26
Modelo 27	Forma 27	Material 27	Resistencia 27	Temperatura 27	Medida 27	Características 27	Aplicaciones 27	Observaciones 27
Modelo 28	Forma 28	Material 28	Resistencia 28	Temperatura 28	Medida 28	Características 28	Aplicaciones 28	Observaciones 28
Modelo 29	Forma 29	Material 29	Resistencia 29	Temperatura 29	Medida 29	Características 29	Aplicaciones 29	Observaciones 29
Modelo 30	Forma 30	Material 30	Resistencia 30	Temperatura 30	Medida 30	Características 30	Aplicaciones 30	Observaciones 30
Modelo 31	Forma 31	Material 31	Resistencia 31	Temperatura 31	Medida 31	Características 31	Aplicaciones 31	Observaciones 31
Modelo 32	Forma 32	Material 32	Resistencia 32	Temperatura 32	Medida 32	Características 32	Aplicaciones 32	Observaciones 32
Modelo 33	Forma 33	Material 33	Resistencia 33	Temperatura 33	Medida 33	Características 33	Aplicaciones 33	Observaciones 33
Modelo 34	Forma 34	Material 34	Resistencia 34	Temperatura 34	Medida 34	Características 34	Aplicaciones 34	Observaciones 34
Modelo 35	Forma 35	Material 35	Resistencia 35	Temperatura 35	Medida 35	Características 35	Aplicaciones 35	Observaciones 35
Modelo 36	Forma 36	Material 36	Resistencia 36	Temperatura 36	Medida 36	Características 36	Aplicaciones 36	Observaciones 36
Modelo 37	Forma 37	Material 37	Resistencia 37	Temperatura 37	Medida 37	Características 37	Aplicaciones 37	Observaciones 37
Modelo 38	Forma 38	Material 38	Resistencia 38	Temperatura 38	Medida 38	Características 38	Aplicaciones 38	Observaciones 38
Modelo 39	Forma 39	Material 39	Resistencia 39	Temperatura 39	Medida 39	Características 39	Aplicaciones 39	Observaciones 39
Modelo 40	Forma 40	Material 40	Resistencia 40	Temperatura 40	Medida 40	Características 40	Aplicaciones 40	Observaciones 40
Modelo 41	Forma 41	Material 41	Resistencia 41	Temperatura 41	Medida 41	Características 41	Aplicaciones 41	Observaciones 41
Modelo 42	Forma 42	Material 42	Resistencia 42	Temperatura 42	Medida 42	Características 42	Aplicaciones 42	Observaciones 42
Modelo 43	Forma 43	Material 43	Resistencia 43	Temperatura 43	Medida 43	Características 43	Aplicaciones 43	Observaciones 43
Modelo 44	Forma 44	Material 44	Resistencia 44	Temperatura 44	Medida 44	Características 44	Aplicaciones 44	Observaciones 44
Modelo 45	Forma 45	Material 45	Resistencia 45	Temperatura 45	Medida 45	Características 45	Aplicaciones 45	Observaciones 45
Modelo 46	Forma 46	Material 46	Resistencia 46	Temperatura 46	Medida 46	Características 46	Aplicaciones 46	Observaciones 46
Modelo 47	Forma 47	Material 47	Resistencia 47	Temperatura 47	Medida 47	Características 47	Aplicaciones 47	Observaciones 47
Modelo 48	Forma 48	Material 48	Resistencia 48	Temperatura 48	Medida 48	Características 48	Aplicaciones 48	Observaciones 48
Modelo 49	Forma 49	Material 49	Resistencia 49	Temperatura 49	Medida 49	Características 49	Aplicaciones 49	Observaciones 49
Modelo 50	Forma 50	Material 50	Resistencia 50	Temperatura 50	Medida 50	Características 50	Aplicaciones 50	Observaciones 50
Modelo 51	Forma 51	Material 51	Resistencia 51	Temperatura 51	Medida 51	Características 51	Aplicaciones 51	Observaciones 51
Modelo 52	Forma 52	Material 52	Resistencia 52	Temperatura 52	Medida 52	Características 52	Aplicaciones 52	Observaciones 52
Modelo 53	Forma 53	Material 53	Resistencia 53	Temperatura 53	Medida 53	Características 53	Aplicaciones 53	Observaciones 53
Modelo 54	Forma 54	Material 54	Resistencia 54	Temperatura 54	Medida 54	Características 54	Aplicaciones 54	Observaciones 54
Modelo 55	Forma 55	Material 55	Resistencia 55	Temperatura 55	Medida 55	Características 55	Aplicaciones 55	Observaciones 55
Modelo 56	Forma 56	Material 56	Resistencia 56	Temperatura 56	Medida 56	Características 56	Aplicaciones 56	Observaciones 56
Modelo 57	Forma 57	Material 57	Resistencia 57	Temperatura 57	Medida 57	Características 57	Aplicaciones 57	Observaciones 57
Modelo 58	Forma 58	Material 58	Resistencia 58	Temperatura 58	Medida 58	Características 58	Aplicaciones 58	Observaciones 58
Modelo 59	Forma 59	Material 59	Resistencia 59	Temperatura 59	Medida 59	Características 59	Aplicaciones 59	Observaciones 59
Modelo 60	Forma 60	Material 60	Resistencia 60	Temperatura 60	Medida 60	Características 60	Aplicaciones 60	Observaciones 60
Modelo 61	Forma 61	Material 61	Resistencia 61	Temperatura 61	Medida 61	Características 61	Aplicaciones 61	Observaciones 61
Modelo 62	Forma 62	Material 62	Resistencia 62	Temperatura 62	Medida 62	Características 62	Aplicaciones 62	Observaciones 62
Modelo 63	Forma 63	Material 63	Resistencia 63	Temperatura 63	Medida 63	Características 63	Aplicaciones 63	Observaciones 63
Modelo 64	Forma 64	Material 64	Resistencia 64	Temperatura 64	Medida 64	Características 64	Aplicaciones 64	Observaciones 64
Modelo 65	Forma 65	Material 65	Resistencia 65	Temperatura 65	Medida 65	Características 65	Aplicaciones 65	Observaciones 65
Modelo 66	Forma 66	Material 66	Resistencia 66	Temperatura 66	Medida 66	Características 66	Aplicaciones 66	Observaciones 66
Modelo 67	Forma 67	Material 67	Resistencia 67	Temperatura 67	Medida 67	Características 67	Aplicaciones 67	Observaciones 67
Modelo 68	Forma 68	Material 68	Resistencia 68	Temperatura 68	Medida 68	Características 68	Aplicaciones 68	Observaciones 68
Modelo 69	Forma 69	Material 69	Resistencia 69	Temperatura 69	Medida 69	Características 69	Aplicaciones 69	Observaciones 69
Modelo 70	Forma 70	Material 70	Resistencia 70	Temperatura 70	Medida 70	Características 70	Aplicaciones 70	Observaciones 70
Modelo 71	Forma 71	Material 71	Resistencia 71	Temperatura 71	Medida 71	Características 71	Aplicaciones 71	Observaciones 71
Modelo 72	Forma 72	Material 72	Resistencia 72	Temperatura 72	Medida 72	Características 72	Aplicaciones 72	Observaciones 72
Modelo 73	Forma 73	Material 73	Resistencia 73	Temperatura 73	Medida 73	Características 73	Aplicaciones 73	Observaciones 73
Modelo 74	Forma 74	Material 74	Resistencia 74	Temperatura 74	Medida 74	Características 74	Aplicaciones 74	Observaciones 74
Modelo 75	Forma 75	Material 75	Resistencia 75	Temperatura 75	Medida 75	Características 75	Aplicaciones 75	Observaciones 75
Modelo 76	Forma 76	Material 76	Resistencia 76	Temperatura 76	Medida 76	Características 76	Aplicaciones 76	Observaciones 76
Modelo 77	Forma 77	Material 77	Resistencia 77	Temperatura 77	Medida 77	Características 77	Aplicaciones 77	Observaciones 77
Modelo 78	Forma 78	Material 78	Resistencia 78	Temperatura 78	Medida 78	Características 78	Aplicaciones 78	Observaciones 78
Modelo 79	Forma 79	Material 79	Resistencia 79	Temperatura 79	Medida 79	Características 79	Aplicaciones 79	Observaciones 79
Modelo 80	Forma 80	Material 80	Resistencia 80	Temperatura 80	Medida 80	Características 80	Aplicaciones 80	Observaciones 80
Modelo 81	Forma 81	Material 81	Resistencia 81	Temperatura 81	Medida 81	Características 81	Aplicaciones 81	Observaciones 81
Modelo 82	Forma 82	Material 82	Resistencia 82	Temperatura 82	Medida 82	Características 82	Aplicaciones 82	Observaciones 82
Modelo 83	Forma 83	Material 83	Resistencia 83	Temperatura 83	Medida 83	Características 83	Aplicaciones 83	Observaciones 83
Modelo 84	Forma 84	Material 84	Resistencia 84	Temperatura 84	Medida 84	Características 84	Aplicaciones 84	Observaciones 84
Modelo 85	Forma 85	Material 85	Resistencia 85	Temperatura 85	Medida 85	Características 85	Aplicaciones 85	Observaciones 85
Modelo 86	Forma 86	Material 86	Resistencia 86	Temperatura 86	Medida 86	Características 86	Aplicaciones 86	Observaciones 86
Modelo 87	Forma 87	Material 87	Resistencia 87	Temperatura 87	Medida 87	Características 87	Aplicaciones 87	Observaciones 87
Modelo 88	Forma 88	Material 88	Resistencia 88	Temperatura 88	Medida 88	Características 88	Aplicaciones 88	Observaciones 88
Modelo 89	Forma 89	Material 89	Resistencia 89	Temperatura 89	Medida 89	Características 89	Aplicaciones 89	Observaciones 89
Modelo 90	Forma 90	Material 90	Resistencia 90	Temperatura 90	Medida 90	Características 90	Aplicaciones 90	Observaciones 90
Modelo 91	Forma 91	Material 91	Resistencia 91	Temperatura 91	Medida 91	Características 91	Aplicaciones 91	Observaciones 91
Modelo 92	Forma 92	Material 92	Resistencia 92	Temperatura 92	Medida 92	Características 92	Aplicaciones 92	Observaciones 92
Modelo 93	Forma 93	Material 93	Resistencia 93	Temperatura 93	Medida 93	Características 93	Aplicaciones 93	Observaciones 93
Modelo 94	Forma 94	Material 94	Resistencia 94	Temperatura 94	Medida 94	Características 94	Aplicaciones 94	Observaciones 94
Modelo 95	Forma 95	Material 95	Resistencia 95	Temperatura 95	Medida 95	Características 95	Aplicaciones 95	Observaciones 95
Modelo 96	Forma 96	Material 96	Resistencia 96	Temperatura 96	Medida 96	Características 96	Aplicaciones 96	Observaciones 96
Modelo 97	Forma 97	Material 97	Resistencia 97	Temperatura 97	Medida 97	Características 97	Aplicaciones 97	Observaciones 97
Modelo 98	Forma 98	Material 98	Resistencia 98	Temperatura 98	Medida 98	Características 98	Aplicaciones 98	Observaciones 98
Modelo 99	Forma 99	Material 99	Resistencia 99	Temperatura 99	Medida 99	Características 99	Aplicaciones 99	Observaciones 99
Modelo 100	Forma 100	Material 100	Resistencia 100	Temperatura 100	Medida 100	Características 100	Aplicaciones 100	Observaciones 100

CASQUILLOS

Modelo	Forma	Material	Resistencia	Temperatura	Medida	Características	Aplicaciones	Observaciones
Modelo 1	Forma 1	Material 1	Resistencia 1	Temperatura 1	Medida 1	Características 1	Aplicaciones 1	Observaciones 1
Modelo 2	Forma 2	Material 2	Resistencia 2	Temperatura 2	Medida 2	Características 2	Aplicaciones 2	Observaciones 2
Modelo 3	Forma 3	Material 3	Resistencia 3	Temperatura 3	Medida 3	Características 3	Aplicaciones 3	Observaciones 3
Modelo 4	Forma 4	Material 4	Resistencia 4	Temperatura 4	Medida 4	Características 4	Aplicaciones 4	Observaciones 4
Modelo 5	Forma 5	Material 5	Resistencia 5	Temperatura 5	Medida 5	Características 5	Aplicaciones 5	Observaciones 5
Modelo 6	Forma 6	Material 6	Resistencia 6	Temperatura 6	Medida 6	Características 6	Aplicaciones 6	Observaciones 6
Modelo 7	Forma 7	Material 7	Resistencia 7	Temperatura 7	Medida 7	Características 7	Aplicaciones 7	Observaciones 7
Modelo 8	Forma 8	Material 8	Resistencia 8	Temperatura 8	Medida 8	Características 8	Aplicaciones 8	Observaciones 8
Modelo 9	Forma 9	Material 9	Resistencia 9	Temperatura 9	Medida 9	Características 9	Aplicaciones 9	Observaciones 9
Modelo 10	Forma 10	Material 10	Resistencia 10	Temperatura 10	Medida 10	Características 10	Aplicaciones 10	Observaciones 10
Modelo 11	Forma 11	Material 11	Resistencia 11	Temperatura 11	Medida 11	Características 11	Aplicaciones 11	Observaciones 11
Modelo 12	Forma 12	Material 12	Resistencia 12	Temperatura 12	Medida 12	Características 12	Aplicaciones 12	Observaciones 12
Modelo 13	Forma 13	Material 13	Resistencia 13	Temperatura 13	Medida 13	Características 13	Aplicaciones 13	Observaciones 13
Modelo 14	Forma 14	Material 14	Resistencia 14	Temperatura 14	Medida 14	Características 14	Aplicaciones 14	Observaciones 14
Modelo 15	Forma 15	Material 15	Resistencia 15	Temperatura 15	Medida 15	Características 15	Aplicaciones 15	Observaciones 15
Modelo 16	Forma 16	Material 16	Resistencia 16	Temperatura 16	Medida 16	Características 16	Aplicaciones 16	Observaciones 16
Modelo 17	Forma 17	Material 17	Resistencia 17	Temperatura 17	Medida 17	Características 17	Aplicaciones 17	Observaciones 17
Modelo 18	Forma 18	Material 18	Resistencia 18	Temperatura 18	Medida 18	Características 18	Aplicaciones 18	Observaciones 18
Modelo 19	Forma 19	Material 19	Resistencia 19	Temperatura 19	Medida 19	Características 19	Aplicaciones 19	Observaciones 19
Modelo 20	Forma 20	Material 20	Resistencia 20	Temperatura 20	Medida 20	Características 20	Aplicaciones 20	Observaciones 20
Modelo 21	Forma 21	Material 21	Resistencia 21	Temperatura 21	Medida 21	Características 21	Aplicaciones 21	Observaciones 21
Modelo 22	Forma 22	Material 22	Resistencia 22	Temperatura 22	Medida 22	Características 22	Aplicaciones 22	Observaciones 22
Modelo 23	Forma 23	Material 23	Resistencia 23	Temperatura 23	Medida 23	Características 23	Aplicaciones 23	Observaciones 23
Modelo 24	Forma 24	Material 24	Resistencia 24	Temperatura 24	Medida 24	Características 24		

Figura 1 Nota técnica del A-400M

Una vez elegida cada una de las normas, en el caso de los casquillos y el bulón, era necesario definir su longitud en función de cómo fuese la unión, ya que este es un dato variable de la norma. En cuanto a las arandelas era necesario elegir un espesor adecuado. Los tiempos invertidos en este proceso se muestran en la siguiente gráfica:

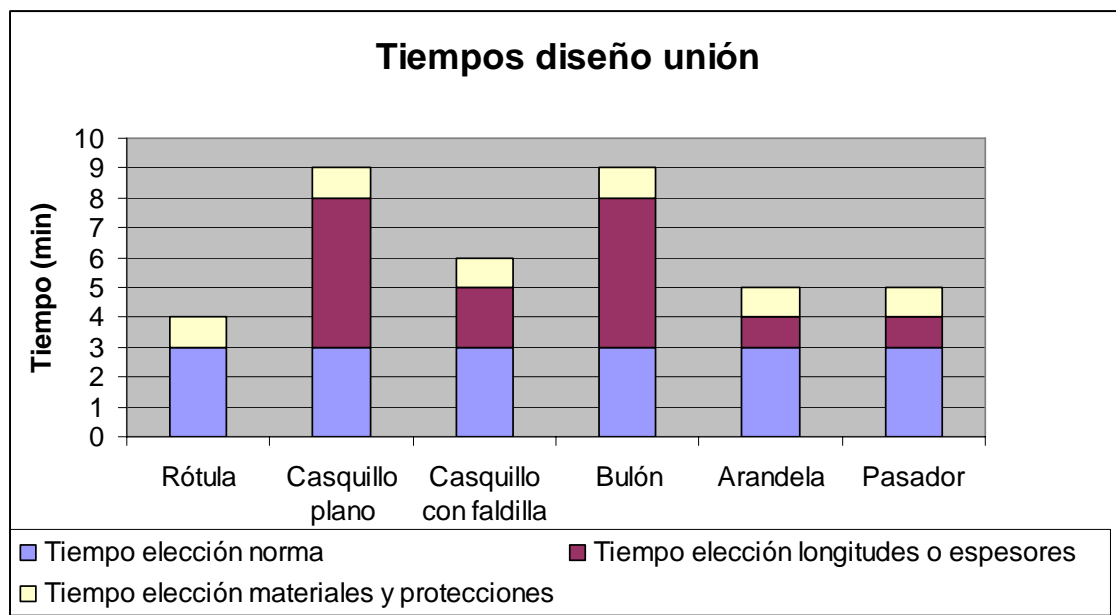


Figura 2 Gráfico de tiempos estimados

$$t_{total} = 38 \text{ min}$$

El tiempo obtenido es el correspondiente al invertido en una sola unión, multiplicándose por el número de uniones diferentes a dimensionar.

La utilización de este programa permitirá al diseñador introducir los datos iniciales requeridos para dimensionar la unión, siendo el tiempo necesario mínimo.

Por tanto, el objetivo final de este programa consiste en reducir el tiempo y costes en el diseño de uniones deslizantes y pinzadas en una orejeta.

3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto consta de los siguientes capítulos:

1. Introducción
2. Objetivos:
3. Estructura del proyecto:
4. Estado del arte: Conceptos preliminares, estudio de los tipos de uniones que se van a dar, así como el estudio por separado de cada uno de los elementos que intervienen en la unión.
5. Desarrollo: Explicación detallada de los parámetros que definen el programa Excel, tanto para las uniones deslizantes como para las uniones pinzadas en una orejeta, así como la explicación de la nueva norma de casquillos.
6. Conclusiones: Se muestran los resultados de la unión generada
7. Desarrollos futuros: Se muestran los posibles trabajos futuros relacionados con el proyecto.
8. Bibliografía

4. ESTADO DEL ARTE

Las uniones de un solo pasador son aquellas que posibilitan el anexo en un punto (o varios) de dos elementos estructurales a través de un herraje hembra (de dos o más orejetas) otro macho (de una o varias orejetas), y un bulón; existen elementos auxiliares como rótulas, tuercas, arandelas, casquillos y retenedores que intervienen en la unión.

Estas uniones están concebidas no sólo para unir dos elementos, sino también para permitir el movimiento relativo entre ellas. Debido a estos movimientos estas estructuras están sometidas al desgaste y por ello han de estar lubricadas y se tienen que revisar periódicamente para su mantenimiento.

Este sistema admite altas cargas y permite montajes y desmontajes simples. Dependiendo de la función de la unión, de las cargas aplicadas y de la durabilidad deseada, el diseño incorporará diferentes características.

Las uniones a tratar en el presente documento son las uniones deslizantes y las pinzadas en una orejeta.

La orejeta es el apéndice de un herraje en cuyo alojamiento se soporta la bulonería a través de la cual se realiza la unión entre dos conjuntos estructurales.

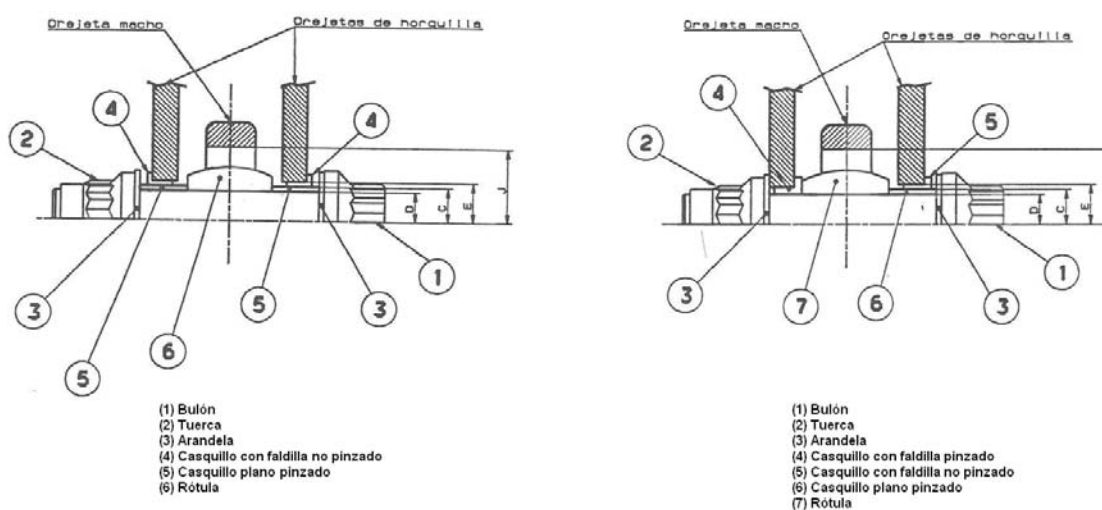


Figura 3 Unión deslizante y pinzada en una orejeta

Las uniones deslizantes son aquellas en las que el par de apriete del bulón no liga los movimientos de éste con el herraje hembra ni con el herraje macho.

Las uniones pinzadas son aquellas que ligan solidariamente el bulón a la horquilla (a una orejeta) a través del par del bulón y de los casquillos pinzados.

Como ayuda para seleccionar entre uniones pinzadas y no pinzadas, en la siguiente tabla se dan una serie de propiedades y características de cada una.

Pinzados	No pinzados
No se desean traslaciones según el eje del bulón	Se desean traslaciones según el eje del bulón
No se desean rotaciones ni del bulón ni de la rótula alrededor del eje del bulón	Se pueden permitir rotaciones alrededor del eje del bulón
Preferible en áreas con vibraciones	-
Se desean absorber cargas según el eje del bulón	No se desea absorber cargas según el eje del bulón
Preferible para uniones oscilatorias, para que la rotación se produzca entre las superficies deseadas (si hay rótula, entre su cuerpo y la bola; si hay casquillos, entre el casquillo plano pinzado y los de la orejeta macho)	-
Preferible en uniones estáticas cuyo diámetro de bulón sea igual o menor de 19.0 mm	Preferible en uniones estáticas cuyo diámetro de bulón sea igual o mayor de 19.0 mm
Extremar el cuidado al unir dos elementos entre sí por dos o más uniones pinzadas por las cargas generadas tras las deformaciones	-
Evitar uniones doblemente pinzadas	-

Tabla 1 Uniones pinzadas vs no pinzadas

Por norma, dentro de una misma estructura que tiene varias uniones solamente puede haber una que sea pinzada. Esto es debido a que al deformarse en momentos puntuales la estructura que hace el movimiento relativo solamente puede tener un punto fijo que no admita ningún tipo de movimiento y que absorba estas cargas. El resto de las uniones que hay deberán de ser deslizantes para poder acompañar la deformación de la estructura (en el caso de haber algún tipo de deformación)

Aquí se puede observar una parte del timón del A-400M con sus correspondientes herrajes con orejeta hembra que irían unidos a otro macho que estaría situado en el cajón de torsión:

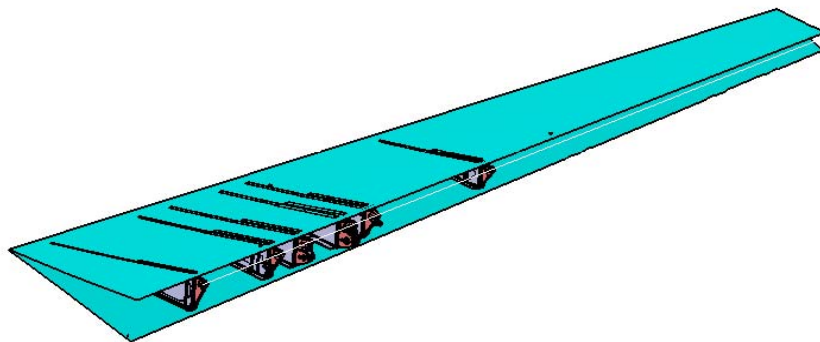


Figura 4 Estructura no sometida a deformaciones

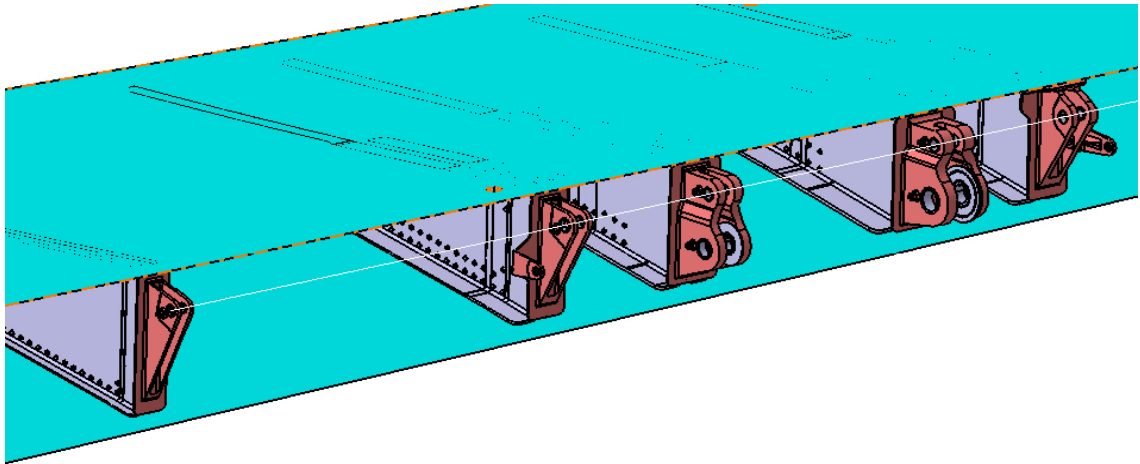


Figura 5 Detalle estructura no sometida a deformaciones

Aquí se puede observar el mismo elevador, pero con dos superficies diferenciadas: La azul claro se corresponde con la estructura sin estar sometida a deformaciones, mientras que la azul oscuro se corresponde con la estructura sometida a deformación. La azul oscuro esta deformada un poco hacia arriba:

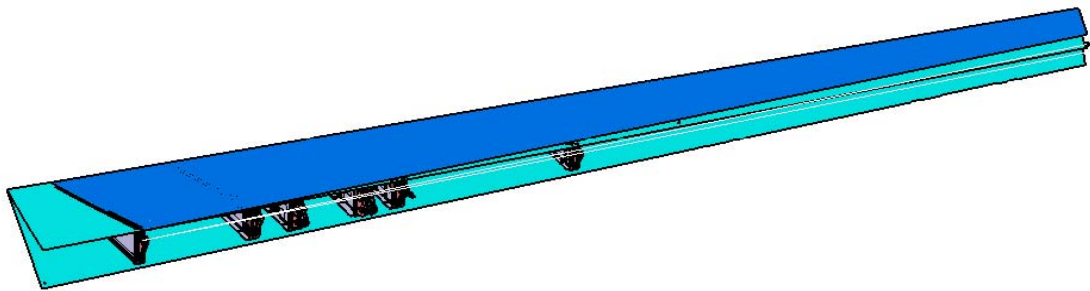


Figura 6 Estructura sometida a deformaciones (azul oscuro)

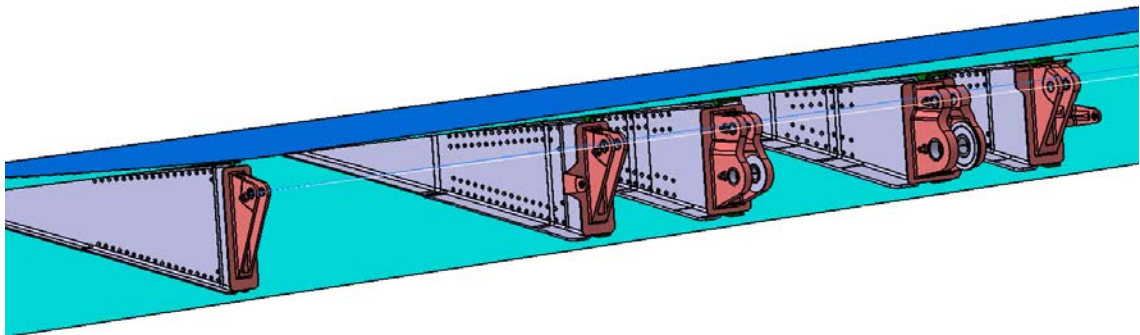


Figura 7 Zoom estructura sometida a deformaciones (azul oscuro)

Si se observa más al detalle los dos primeros herrajes se podrá explicar las diferencias de instalación entre una unión pinzada en una orejeta y otra deslizante. (el resto de los herrajes de los que no se hablará también serán deslizantes y se comportarán del mismo modo que el deslizante que se va a estudiar)

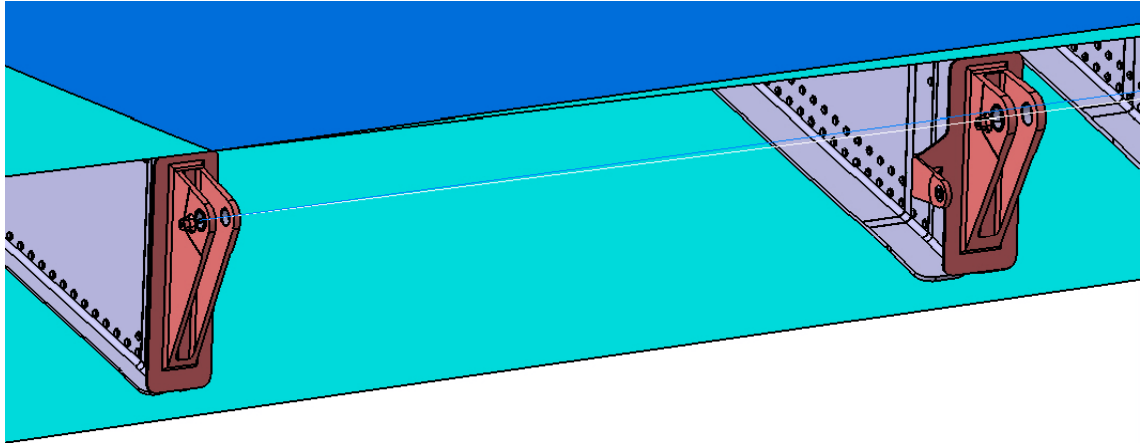


Figura 8 Unión pinzada y deslizante en estructura deformada

Se puede ver en la figura superior más al detalle, la línea blanca por donde pasan todos los ejes sin estar sometidos a deformación. En cambio, la línea azul es la línea que define por donde iría el eje de unión en el caso de haber una deformación. El herraje de la izquierda corresponde a una unión pinzada en una orejeta mientras que el de la derecha corresponde a una deslizante.

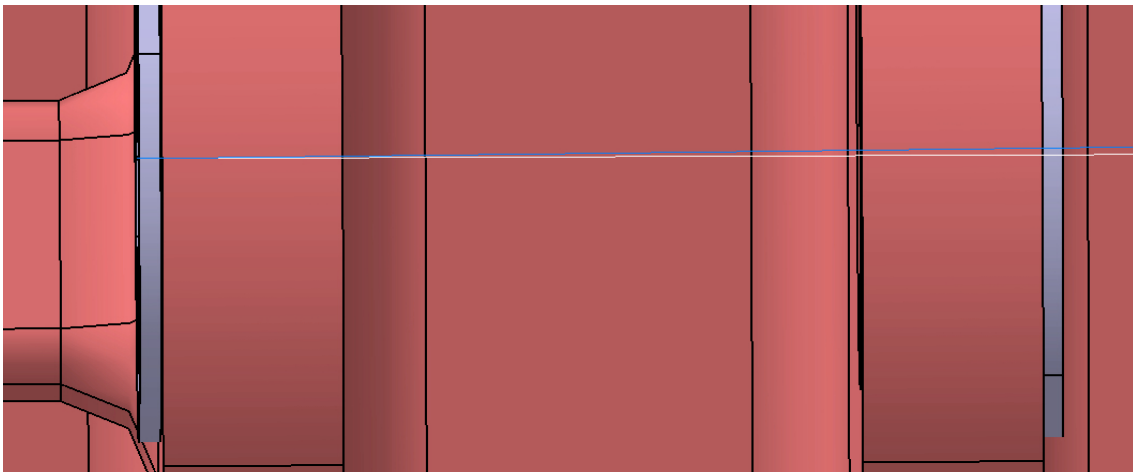


Figura 9 Detalle unión pinzada

En la figura superior se puede observar la unión pinzada; esta, está pinzada sólo en una orejeta debido a que al soportar las cargas laterales una de las orejetas del herraje (la izquierda), aparece un ligero desplazamiento del eje de unión al llegar a la otra orejeta (la derecha) debido a la deflexión causada por la deformación que afecta a la estructura. Por tanto, en esta orejeta se tiene que tener en cuenta un ligero movimiento relativo según el movimiento del eje al estar deformado (no se puede pinzar también)

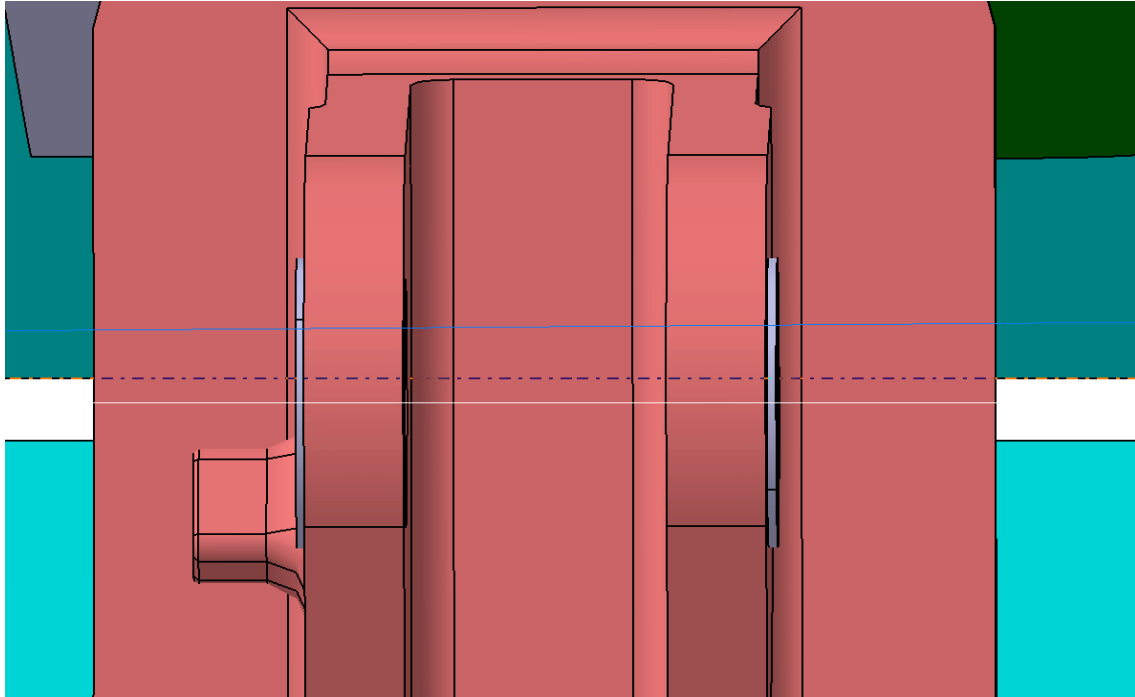


Figura 10 Detalle unión deslizante

En el caso de la unión deslizante de la figura superior la deformación es mayor y afecta a las dos orejetas que por tanto tienen que ser deslizantes para poder desplazarse con respecto a esta deformación.

4.1. **Función de la unión**

Las diversas configuraciones de uniones de un solo pasador se desarrollan por la diferente funcionalidad de las mismas.

4.1.1. **Estática vs. Rotativa**

Las uniones pueden unir dos elementos cuya funcionalidad requiere giros de uno respecto al otro se denominan uniones rotativas, o dos elementos que no necesiten de estos giros relativos, en cuyo caso se denominan uniones estáticas. En estas últimas se permiten pequeñas rotaciones debidas a deformaciones.

4.1.2. **Autoalineables vs. No autoalineables**

Se llama unión autoalineable a aquella que permite desalineamientos entre los planos de las orejetas del herraje hembra con respecto a la del macho. Instala una rótula en la orejeta macho y no introduce momento torsor en la unión. Son las que utilizaremos en nuestro caso.

Por el contrario la unión no autoalineable no admite desalineación alguna entre los planos de las distintas orejetas de los herrajes, excepto aquellas provocadas por las deformaciones.

La siguiente tabla explica la selección entre uniones autoalineables y no autoalineables.

Autoalineable (Equipa rótula en la orejeta)	No autoalineable (Equipa casquillos en la orejeta)
Unión oscilatoria: eje de giro en dos o más puntos de apoyo	Unión oscilatoria: Con un punto de giro o dos puntos entre estructuras muy rígidas entre puntos
Uniones estáticas: entre estructuras con cierta flexibilidad entre puntos de unión	Uniones estáticas: entre estructuras rígidas entre puntos de unión
Para estructuras que, por deflexiones bajo cargas, tienen un giro relativo que no coincide con el del eje del bulón (no transmiten torsión)	Para unir estructuras de las que no se espera o desea desalineamientos entre orejetas macho y hembra (transmiten torsión)

Tabla 2 Autoalineable vs no autoalineable

4.2. Tolerancias de ajuste

Las tolerancias de ajuste vienen designadas por letras mayúsculas (diámetro exterior) y letras minúsculas (diámetro interior) y corresponden a unos intervalos de tolerancias estandarizados ISA.

Cuando se define el ajuste entre dos elementos que van montados uno sobre otro y que tienen unas tolerancias estandarizadas, se introduce la tolerancia del diámetro interior de uno y la tolerancia del diámetro exterior del otro. Si por ejemplo se monta un casquillo plano con tolerancia del diámetro interior H7 sobre un bulón de tolerancia de diámetro exterior e6, la unión tendrá un ajuste H7e6, correspondiendo este a un ajuste con holgura.

Las letras mayúsculas se corresponden con el agujero. La letra H se reserva para indicar el campo de tolerancia cuya diferencia inferior es la línea cero o línea límite.

Las letras A, B, C, D, E, F, G, significan agujeros con ajuste móvil mientras que J, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, significan agujeros con ajustes fijos o a presión.

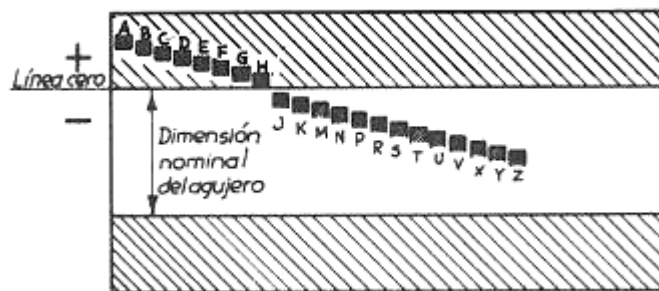


Figura 11 Tolerancias de ajuste del agujero

Las letras minúsculas se corresponden con el eje. La letra h se reserva para indicar el campo de tolerancia cuya diferencia inferior es la línea cero o línea límite.

Las letras a, b, c, d, e, f, g significan ejes con ajuste móvil mientras que j, k, m, n, p, r, s, t, u, x, y, z, significan ajustes fijos o a presión.

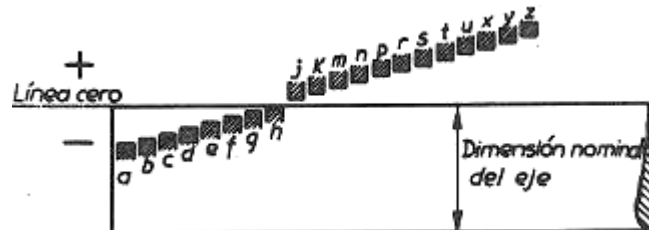


Figura 12 Tolerancias de ajuste del eje

Nota: Ver DIN7157, DIN7160, DIN7061

4.3. Durabilidad

Bajo el título de durabilidad se intenta englobar un conjunto de consideraciones de diseño que se encaminan a garantizar la vida de la unión y su calidad en este periodo, como son:

4.3.1. Control de fallo

Dos elementos estructurales suelen unirse por varios puntos. Esto implica, en muchos casos, la existencia de caminos múltiples de carga. El fallo de una unión conlleva la sobrecarga de las adyacentes, que se dimensionan teniendo en cuenta este caso de carga límite.

En el caso de fallar la rótula, esta girará en torno al bulón (motivo por el cual ha sido instalada “con juego” para tener otro camino de giro en el caso de fallar la rótula.

En el momento que se produce el fallo en cualquier elemento de la unión este procederá a ser retirado y reemplazado por otro igual o sobredimensionado. Ver capítulos desde 4.5 hasta 4.10 en el apartado de reparabilidad.

4.3.2. Lubricación

La apropiada lubricación de una unión es fundamental para el buen funcionamiento de la misma, así como para aumentar la vida de los elementos que la componen por los efectos que tienen en la contención del desgaste y la corrosión.

La selección del tipo de lubricación depende, fundamentalmente, de los siguientes factores:

- Material
- Velocidad
- Tipo de cargas
- Magnitud de las cargas
- Condiciones ambientales

Todos los elementos de la unión deben lubricarse, ya sea por una lubricación permanente mediante engrasadores, sellando el elemento para evitar la migración del lubricante, o con materiales autolubricados.

El mantenimiento más económico se consigue con diseños que incorporan rótulas autolubricadas o selladas y/o casquillería autolubricada.

Existen cuatro tipos de fundamentales de lubricaciones, que aparecen en la siguiente tabla:

Tipo de lubricación	Componente	Aplicación
Fluida	Aceites y grasas	
-hidrodinámica		Hidrodinámica ($v > 25$ r.p.m.)
-de película		Película ($v < 10$ r.p.m.)
-mixta		Mixta ($10 < v < 25$ r.p.m.)
Sólida (película seca)	Bisulfuro de molibdeno	Altas temperaturas Altas cargas estáticas Baja capacidad para reducir rozamiento
Autolubricación	Teflón, poliamidas, materiales fenólicos, karon	Bajas velocidades Baja capacidad de carga estática y dinámica Poca resistencia a contaminación Alta capacidad para reducir el rozamiento No requiere mantenimiento Buena resistencia a la corrosión
Superficies compatibles	Al-Ni-Br/Al-Br/Be-Cu	Alta capacidad de carga estática, dinámica y percusión
	En contacto cromado, niquelado y plateado	No requiere mantenimiento

Tabla 3 Tipos de lubricación

En nuestro caso utilizaremos rótulas autolubricadas que irán selladas para evitar la migración del “liner”. El “liner” es una tela autolubricada que se instala en la holgura a través de la cual gira la rótula y que se pinza en esta, dándole una lubricación suave y libre de mantenimiento.

4.3.3. Protección contra la corrosión

Las protecciones adecuadas en cada una de las configuraciones recomendadas y los elementos empleados son:

Material del herraje	Protección del taladro del herraje	Protección del D _{ext} casquillo ext o rótula	Configuración de casquillos si se requiere por los dos lados	Protección del bulón
Al	Anodizado	Cadmiado	Horquilla: dos casquillos superpuestos	Unión pinzada: CRES pasivado
Aceros baja aleación	Cadmiado	Cadmiado	Macho: dos casquillos superpuestos o dos semicasquillos más otro plano exterior	Unión no pinzada: CRES-cromado
Ti	Ninguna	Ninguna (no cadmiar)	Dos semicasquillos	diámetro exterior
CRES	Pasivado	No se requiere		Ti- fosfatado

Tabla 4 Protecciones recomendadas

Estos son valores genéricos y no tienen por qué ser siempre aplicados de este modo.

A fin de aumentar la vida de la unión y su mejor funcionamiento, se deben elegir adecuadamente los materiales y sus tratamientos, acabados y protecciones superficiales, lubricación, sellado y configuración de casquillos.

4.3.4. Reparabilidad, disponibilidad y desgastes admisibles

Diseñar uniones con elementos normalizados y minimizar el número de partes diferentes (no únicamente en la norma, sino también en diámetros y longitudes) reduce los costes de mantenimiento notablemente, no sólo por lo que representa en disminución de almacén, sino por la estandarización de procedimientos y familiarización con los procesos.

Es necesario proveer al operador de los datos de los desgastes y retrabajados admisibles, así como exponer si se deben sustituir las piezas diseñadas por otras nuevas, por sobremedidas, o darle nueva protección.

En cualquier caso, hay que considerar la rigidez que se requiere en la unión, puesto que estas holguras admisibles la reducen considerablemente.

En cada configuración posible de casquillos se incluye el método más recomendable de sustitución de elementos, aunque, de forma general, se puede resumir en:

- Sustituir la rótula cuando alcanza su “vida segura”.
- Sustituir el bulón cuando alcanza su “vida segura”.
- El casquillo interno (que no existe en todas las configuraciones) debe sustituirse o se le pueden reponer sus protecciones superficiales cuando los límites de desgaste y holgura admisibles superen sus diámetros exterior y interior.
- El casquillo externo (zunchado) debe sustituirse por un sobremedida, como último recurso, si se supera el desgaste o la holgura interior de los límites establecidos. Ello conlleva un retrabajado de la orejeta, por lo que se debe dimensionar con diámetro exterior 3.0 mm mayor que el teórico.

4.4. Tipos de configuración

En este capítulo se analizarán las diferentes configuraciones que se tendrán en cuenta en este programa.

Es importante notar que, para elementos móviles las dos configuraciones más usadas son:

- Unión autoalineable pinzada en una orejeta, para el punto de articulación que absorba carga lateral
- Unión autoalineable deslizante, para el resto de puntos de articulación

4.4.1. Unión autoalineable deslizante sin giro de bulón

La configuración típica que presenta este tipo de uniones es la que aparece en la siguiente figura, correspondiendo su numeración a:

- (1) Bulón
- (2) Tuerca
- (3) Arandela
- (4) Casquillo con faldilla no pinzado
- (5) Casquillo plano pinzado
- (6) Rótula

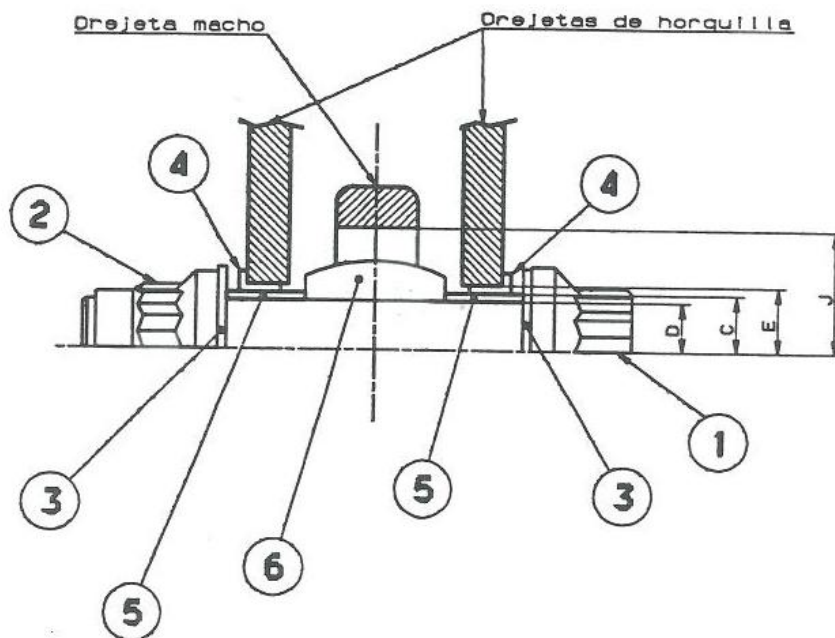


Figura 13 Partes de la unión deslizante

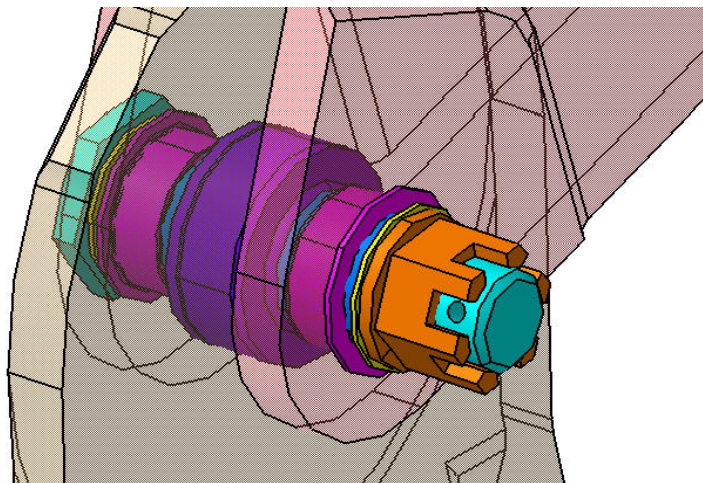


Figura 14 Vista 3D unión deslizante

4.4.1.1. *Otras consideraciones:*

- Cuidar durante la instalación del bulón la posible migración del casquillo con faldilla de la orejeta del lado de la tuerca.
- Las faldillas de los casquillos van hacia el exterior para que eventuales desplazamientos de los casquillos con faldilla nunca interfieran con la rótula.
- Los casquillos con faldilla se instalan con interferencia y sellante húmedo, escariándose posteriormente a H7 con sus respectivas tolerancias.
- Al dar el par de apriete a la tuerca se consigue una unión rígida por rozamiento entre tuerca, arandela, casquillo plano, bola de rótula, casquillo plano, arandela y bulón. Bulón y tuerca se frenan en giro respecto a la horquilla (han de ser frenados ambos para evitar su pérdida) y se produce el giro entre bola y carcasa de la rótula.
- El par de apriete no introduce carga en la horquilla.
- Las faldillas de los casquillos protegen las caras exteriores de la horquilla frente a choques y desgastes.
- El deslizamiento axial se produce entre la cara interior del casquillo con faldilla y la exterior del casquillo plano; por ello el ajuste radial (H7/g6) y las combinaciones de materiales y protección superficial minimizan los desgastes.

4.4.1.2. *Mantenimiento de la unión*

- Las orejetas de herraje y horquilla se diseñan con diámetro exterior 3 mm mayor que el necesario para permitir posibles retrabajados y sustitución de casquillos y rótula.
- Acabada la vida del bulón se sustituye.
- La rótula se sustituye cuando acabe su vida
- El casquillo con faldilla se sustituye por un “sobremedida” cuando acabe su vida.
- El casquillo plano no se desgasta si no es por un mal funcionamiento de la unión, pudiéndose sustituir o reponer la protección superficial.

4.4.2. Unión autoalineable pinzada en una orejeta

La configuración típica que presenta este tipo de uniones es la que aparece en la siguiente figura, correspondiendo su numeración a:

- (1) Bulón
- (2) Tuerca
- (3) Arandela
- (4) Casquillo con faldilla no pinzado
- (5) Casquillo plano pinzado
- (6) Rótula

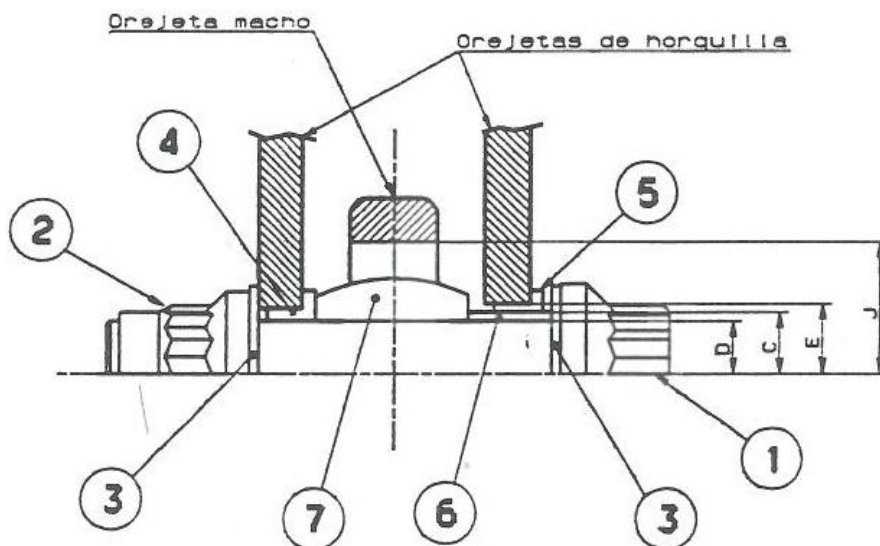


Figura 15 Partes de la unión pinzada

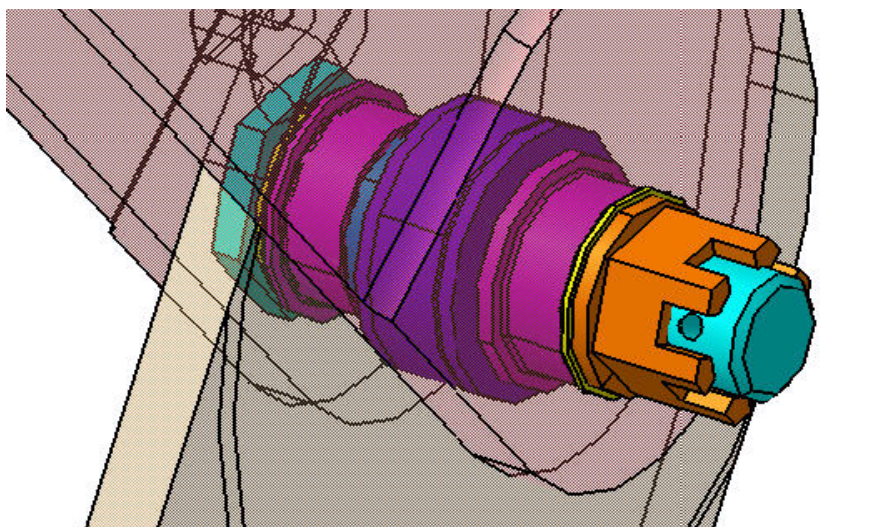


Figura 16 Vista 3D de la unión pinzada

4.4.2.1. *Otras consideraciones:*

- La cabeza del bulón ha de estar junto a la orejeta no pinzada para evitar el movimiento de los casquillos durante la instalación del bulón. Esto hace que las faldillas de los casquillos estén del lado de la cabeza del bulón, lo que, además, protege el herraje de desgastes, y, en un posible desplazamiento (en operación) del casquillo con faldilla no pinzado, éste no interfiere con la rótula.
- Los casquillos con faldilla se instalan con interferencia y sellante húmedo, con tolerancias H7 tras el escariado.
- Al dar el par de apriete a la tuerca, se consigue una unión rígida por rozamiento entre tuerca, arandela, orejeta pinzada, casquillo con faldilla pinzado, bola de la rótula, casquillo plano pinzado, arandela y bulón, con lo que el giro se produce sólo entre bola y carcasa de la rótula, y no entre los otros elementos de unión.
- El par de apriete no introduce cargas en las orejetas de la horquilla
- Cuando existen vibraciones pueden darse pequeños deslizamientos axiales relativos entre los elementos de la unión; por esto, los ajustes radiales y la combinación de materiales (con sus protecciones superficiales) minimizan no sólo el desgaste sino también la corrosión por fricción y el gripado. El principal movimiento se produce entre casquillo con faldilla no pinzado y casquillo plano (H7/g6)

4.4.2.2. *Mantenimiento de la unión:*

- Las orejetas del herraje y horquilla se diseñan con diámetro exterior 3 mm mayor que el necesario para permitir posibles retrabajados y sustitución de casquillos y rótula.
- Acabada la vida del bulón se sustituye.
- La rótula se sustituye cuando acabe su vida.
- Sólo en caso de mal funcionamiento de la unión, los casquillos pinzados (con faldilla y plano) se deterioran. En tal caso, sustituir el casquillo con faldilla pinzado por un sobremedida y reponer la protección superficial al casquillo plano pinzado o sustituirlo.

4.5. Rótulas

Las rótulas son los elementos de la unión que permiten el desalineamiento de los ejes, evitando así cargas inducidas fuera de su plano, por ello se instalan en las uniones autoalineables.

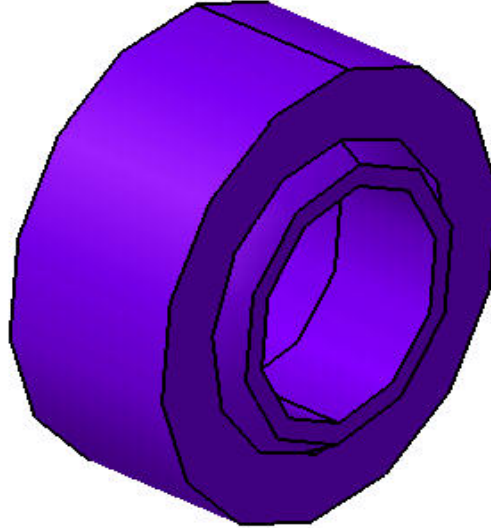


Figura 17 Vista 3D rótula

4.5.1. Generalidades

Existen muchos tipos de diferentes de rótulas, cuya selección depende de la funcionalidad de la unión. Se dividen en:

- Rótulas con rodillos o bolas (cojinetes)
- Rótulas de deslizamiento

Los factores para su uso son:

Rótulas con rodillos o bolas	Rótulas de deslizamiento
La rotación es grande y rápida	La rotación es pequeña y lenta
Admiten pequeñas cargas con bolas, y medianas con rodillos	Admiten cargas altas
Vibraciones, oscilaciones y cambios de cargas deben ser pequeños	Soportan altas vibraciones, oscilaciones y cambios de carga, e incluso, percusiones
Dado que la fricción es pequeña, el desgaste también lo es	Presentan mayor resistencia al movimiento inicial e incluso a la operación. Producen mayores desgastes
Si es posible utilizar las selladas, siempre serán preferibles por reducir el mantenimiento	-

Tabla 5 Tipos de rótulas

4.5.2. Selección de rótulas

Las rótulas más utilizadas en las uniones de un solo pasador son las de deslizamiento anular, que se subdividen en:

- Anchas
- Estrechas

Las necesidades de espacio y carga (las anchas ocupan más espacio y soportan más carga) son los factores principales que determinan su elección

Cada uno de estos grupos de rótulas se puede subdividir según el material del anillo exterior y de su bola, de los cuales depende su aplicación de acuerdo a la siguiente tabla:

Material de la bola	Material del anillo exterior	Lubricación	Aplicación
CRES	Al-Br	Engrase periódico	Poco usadas
			Cargas estáticas altas
			Bajo desalineamiento
			Pequeñas oscilaciones de cargas
CRES	Al-Br	Lubricadas	Cargas estáticas y oscilatorias
CRES	CRES	Engrase periódico	Poco usadas
			Uniones estáticas muy cargadas
			Poco desalineamiento
Be-Cu	CRES	Lubricadas	Poco usadas
			Cargas estáticas y oscilatorias
CRES	CRES teflonado	Teflón sin sellar	No necesitan lubricación
			Ambientes poco contaminados
			Bajo mantenimiento
CRES	CRES teflonado	Teflón selladas	No necesitan lubricación
			Ambientes contaminados
			Altas cargas estáticas y oscilatorias
			Bajo mantenimiento

Tabla 6 Material de las rótulas

Siendo el uso de estas rótulas en lugares de pequeñas y lentas rotaciones, siempre serán preferibles aquellas autolubricadas, especialmente las teflonadas, pues su mantenimiento se reduce.

4.5.3. Instalación de rótulas

Hay muchas maneras diferentes de instalar una rótula en su alojamiento. En este capítulo destacaremos las dos maneras principales para instalar una rótula que serán las que posteriormente utilizaremos para las uniones deslizantes y pinzadas en una orejeta.

La instalación de la rótula tiene tres razones fundamentales:

- Evitar el giro de la bola de la rótula respecto al bulón.
- Evitar el desplazamiento lateral de la rótula respecto a su alojamiento en el herraje.
- Evitar el giro de la rótula dentro del alojamiento del herraje.

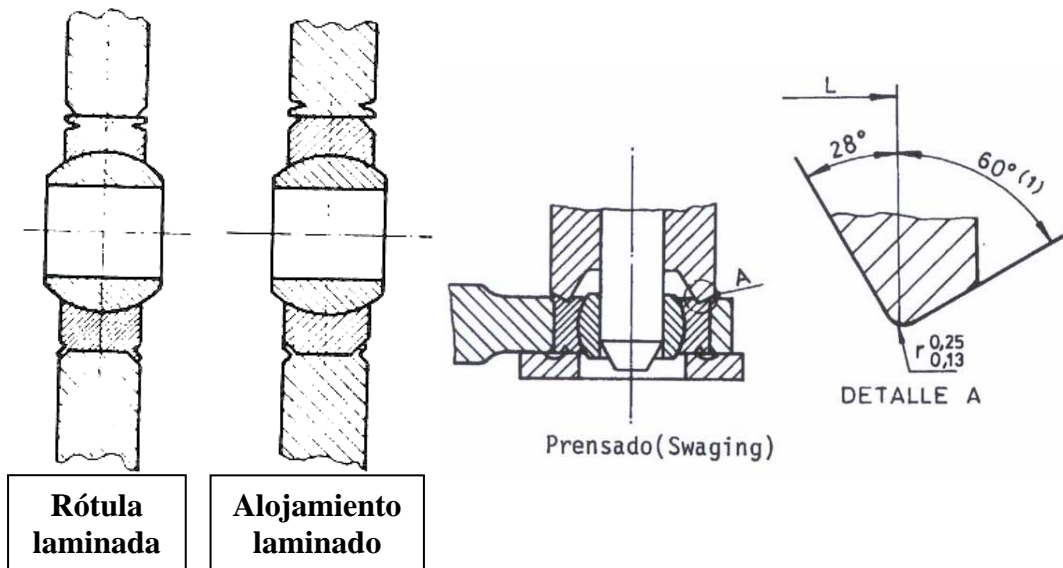


Figura 18 Tipos de instalaciones de las rótulas

4.5.3.1. Rótula laminada:

Este procedimiento es únicamente aplicable a rótulas con taladro de diámetro hasta 25,4mm que al efecto posean una ranura en la superficie lateral del anillo exterior.

Estas rótulas poseen unas ranuras denominadas “ranuras de prensado” que son las que nos permiten el acoplamiento a la orejeta donde se inserte e impiden que se muevan.

No requiere incrementar el espacio ni el peso, permite el reemplazo de las rótulas y proporciona buena retención, por lo que es uno de los procedimientos más utilizados.

La retención, por ser la rótula la que se lamina y no el alojamiento no depende del material de esta.

Antes de la instalación deberá comprobarse que las rótulas están en perfectas condiciones, limpias, sin rebabas, superficies sin muestras de oxidación y sin irregularidades en el giro ni en la oscilación.

La tolerancia en el diámetro del alojamiento será H7.

Antes de proceder a la introducción de la rótula en el alojamiento se aplicará una capa de grasa sobre la superficie externa de los anillos exterior e interior.

Se introducirán las rótulas a mano o mediante útil en su alojamiento perfectamente centradas y se procederá a graparlas con útiles especiales.

Durante la instalación nunca se aplicará presión sobre el anillo interior de la rótula.

Se introducirá la punta del útil en la ranura de prensado que será la que se deformará apoyándose sobre el chaflán de la orejeta para la fijación de la rótula.

Una vez fijado por un lado se repetirá la operación por el lado opuesto a menos que sea previsto otro procedimiento.

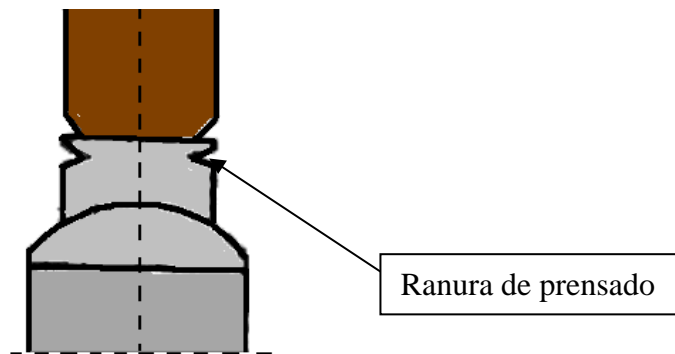


Figura 19 Zoom ranura de prensado

4.5.3.2. Alojamiento laminado:

Este procedimiento es análogo al anterior, si bien en este caso, la parte laminada o prensada es el alojamiento, por lo cual la retención de la rótula también depende del material del alojamiento.

En este caso, la rótula no poseerá ranura de prensado siendo la orejeta la que la tenga y por tanto, donde se tendrá que aplicar la deformación apoyándose sobre el chaflán de la rótula.

Método de retención	Retención		Carga admisible		Reemplazabilidad	Necesidad de mayor Espacio/peso	Disminución resistencia alojamiento	Instalación Inspección	Selección
	Traslación axial	Rotación	Axial	Radial					
Rótula laminada	Aceptable	Baja	Media	Alta	Aceptable	No	Ninguna	Fácil	Usar con cargas laterales bajas
Alojamiento laminado	Mediana	Baja	Media	Alta	Mala	No	Importante	Fácil	Evitar. Daña el herraje

Tabla 7 Rótula laminada vs alojamiento laminado

4.5.4. Reparabilidad

Si la rótula es la que es laminada, el reemplazo de esta por otra análoga es válido.

Si es el alojamiento el que es laminado, será muy problemático el reemplazamiento de la rótula, por lo que siempre es preferible que la rótula sea laminada y no el alojamiento.

4.6. Casquillos

Son piezas intermedias entre bulón y herrajes que contribuyen a minimizar desgastes y coeficientes de rozamiento incrementando la calidad y la vida de la unión

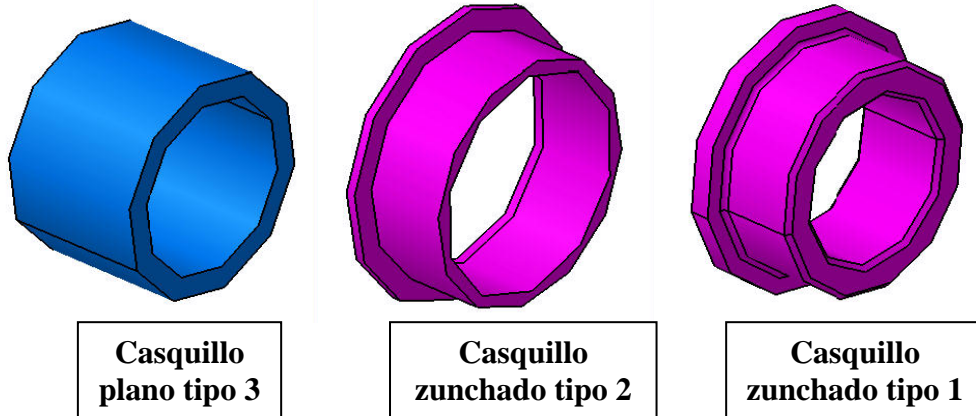


Figura 20 Vista 3D tipos de casquillos

4.6.1. Generalidades:

Prever la posible migración del casquillo en el montaje, operación y mantenimiento de la unión, mediante el apropiado posicionamiento de faldillas y métodos de retención

Usar siempre que sea posible casquillos normalizados.

Su función es proteger a otras piezas, por lo que están sometidas a desgaste.

Los materiales, las protecciones superficiales y los ajustes son fundamentales para la funcionalidad de la unión global evitando que ésta se gripe, exista un rozamiento inadecuado, los bulones no se bloqueen, se desgasten las piezas, se corroan y deformen los elementos o sufran daños que limiten su vida en servicio.

Los casquillos con faldilla protegen los laterales de las orejetas en las que se instalan.

La altura del casquillo puede ser crítica. Por una parte, protege al herraje por lo que debe ser lo más alto posible. Por otra, está sometida a cargas laterales, cuanto más alta, mayor será la flexión a la que es sometida si la pieza que lo carga lateralmente no solapa más de 1.0mm sobre el herraje.

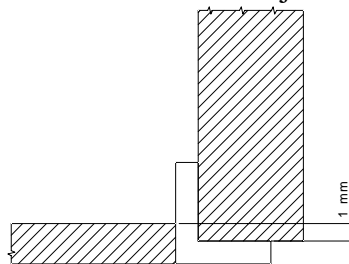


Figura 21 Altura crítica de casquillo

4.6.2. Tipos de casquillos

4.6.2.1. *Con faldilla pinzados:*

Protegen al herraje sobre el que se montan y quedan solidarios a él y al bulón.

4.6.2.2. *Con faldilla no pinzados*

Se diseña para que deslice sobre el bulón u otro casquillo con mínimo desgaste propio y nulo en los demás elementos de la unión.

4.6.2.3. *Planos pinzados*

Se unen por la aplicación de un par de apriete rígidamente al bulón eliminando el giro mediante el pinzamiento a una orejeta de la horquilla o a la orejeta macho.

4.6.2.4. *Planos no pinzados:*

Protegen al herraje y sobre él se instalan casquillos con faldilla. Permiten el giro. No los usaremos.

4.6.3. Instalación de casquillos

Es necesario achaflanar los bordes en el exterior para facilitar su instalación y en el interior para facilitar la instalación de otro casquillo o bulón.

Según la función que el casquillo realice, se instalan con interferencia ($H7/s6$), para unirlos solidariamente a la orejeta, o con juego ($H7/g6$) para permitir movimientos relativos entre la orejeta y el casquillo.

A continuación se detallan los métodos de instalación de casquillos:

4.6.3.1. Por interferencia

Consiste en la diferencia entre el diámetro efectivo del agujero y el efectivo del eje, cuando al ensamblar dos piezas el diámetro del agujero es menor que el del eje.

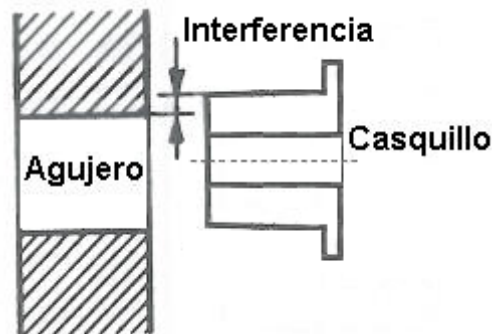


Figura 22 Instalación casquillos por interferencia

Utilizado para piezas de ajuste permanente unidas con mucha precisión.

Requiere un escariado del diámetro interior tras su instalación puesto que esta medida no resulta controlable, aunque sí predecible.

Crea esfuerzos radiales de instalación.

Retiene axial y rotacionalmente el casquillo a la orejeta.

Razones para no usar casquillos retenidos con interferencia:

- Que los casquillos tengan protección o tratamiento en el diámetro interior que se puede dañar durante la instalación o el escariado o desaparecer en el escariado.
- Que el material de la orejeta y/o casquillo no admita esfuerzos de instalación (por ejemplo, fibra de carbono)
- Que la carga axial de la unión pueda provocar la migración del casquillo.

Se instala por procedimientos térmicos o con prensa y con sellante:

o Montaje en prensa:

Antes de efectuar el montaje se aplicará una película de sellante sobre el casquillo y sobre el alojamiento. Solo en el caso de que el casquillo se instale en un sistema fluido, puede aplicarse una película del mismo fluido del sistema.

Se aplicará igualmente sellante sobre cualquier zona del alojamiento que quede sin protección (asientos, avellanados, acuerdos, etc.)

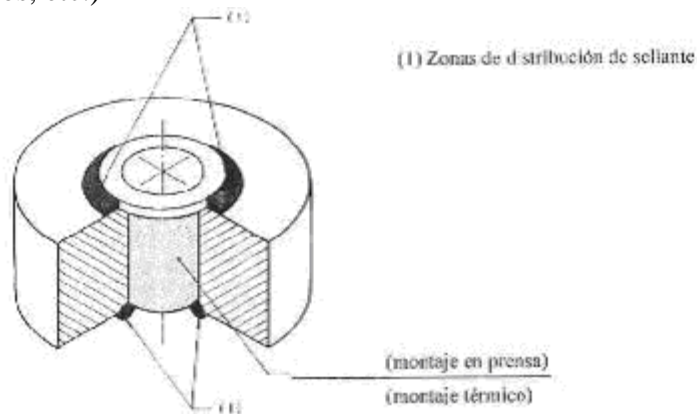


Figura 23 Aplicación de sellante en instalación por interferencia

o Montaje térmico:

Únicamente cuando no sea posible realizar el montaje en prensa, ya sea porque por el tipo de características de los materiales se produzca el gripado del casquillo con el alojamiento o por el arrastre de material, este se efectuará por método térmico, empleando el método de calentamiento y/o enfriamiento menos severo posible.

Siempre que sea posible se realizará por calentamiento del alojamiento. Únicamente cuando la expansión obtenida por el calentamiento del alojamiento no sea la suficiente, o que el tamaño o ubicación de la pieza que contiene el taladro del alojamiento no lo permitan, se procederá al enfriamiento del casquillo o la combinación de ambos procedimientos.

Las piezas se mantendrán sometidas al tratamiento térmico el tiempo preciso para que toda su masa adquiriera una temperatura uniforme. No se mantendrán más tiempo del necesario, y en ningún caso sobrepasarán más de 30 minutos de permanencia.

Inmediatamente después de la extracción de la pieza del horno se procederá al montaje del casquillo procurando que el tiempo de instalación sea mínimo (menos de 10 segundos)

- Instalación por calentamiento del alojamiento:

Calentar en horno la pieza o herraje que contiene el taladro de alojamiento, habiendo sido este previamente desengrasado y estando totalmente seco, hasta que adquiriera la temperatura requerida.

Para alojamientos y casquillos de diámetros 10 mm:

TEMP. °C	ALEACIONES DE ALUMINIO	MAGNESIO	ACEROS	BRONCE	TITANIO
150	28,6	33,1	15,1	22,1	11
140	26,4	30,6	13,9	20,4	10,2
130	24,2	28	12,8	18,7	9,3
120	22	25,5	11,6	17	8,5
110	19,8	22,9	10,4	15,3	7,6
100	17,6	20,4	9,3	13,6	6,8
90	15,4	17,8	8,1	11,9	5,9
80	13,2	15,3	7	10,2	5,1
70	11	12,7	5,8	8,5	4,2
60	8,8	10,2	4,6	6,8	3,4
50	6,6	7,6	3,5	5,1	2,5
40	4,4	5,1	2,3	3,4	1,7
30	2,2	2,5	1,2	1,7	0,8
20	-	-	-	-	-

Tabla 8 Temperaturas para instalación por calentamiento del alojamiento

Nota: No se deberá nunca sobrepasar la temperatura máxima de 150°C

Nota 2: Los valores mostrados en la tabla corresponden a la experiencia de EADS-CASA

- Instalación por enfriamiento del casquillo:

Enfriar el casquillo hasta que adquiriera la temperatura requerida.

Para alojamientos y casquillos de diámetros 10 mm:

TEMP. °C	ALEACIONES DE ALUMINIO	MAGNESIO	ACEROS	BRONCE	TITANIO
20	-	-	-	-	-
10	2,2	2,5	1,2	1,7	0,8
0	4,4	5,1	2,3	3,4	1,7
-10	6,6	7,6	3,5	5,1	2,5
-20	8,8	10,2	4,6	6,8	3,4
-30	11	12,7	5,8	8,5	4,2
-40	13,2	15,3	7	10,2	5,1
-50	15,4	17,8	8,1	11,9	5,9
-60	17,6	20,4	9,3	13,6	6,8
-70	19,8	22,9	10,4	15,3	7,6
-80	22	25,5	11,6	17	8,5
-90	24,2	28	12,8	18,7	9,3
-100	26,4	30,6	13,9	20,4	10,2
-110	28,6	33,1	15,1	22,1	11
-120	30,8	35,7	16,2	23,8	11,9
-130	33	38,2	17,4	25,5	12,7
-140	35,2	40,8	18,6	27,2	13,6
-150	37,4	43,3	19,7	28,9	14,4
-160	39,6	45,9	20,9	30,6	15,3
-170	41,8	48,4	22	32,3	16,1
-180	44	51	23,2	34	17

Tabla 9 Temperaturas para instalación por enfriamiento del casquillo

Nota: Los valores mostrados en la tabla corresponden a la experiencia de EADS-CASA

4.6.3.2. Con juego:

Es la diferencia entre el diámetro efectivo del agujero y el efectivo del eje, cuando el primero es mayor que el segundo.

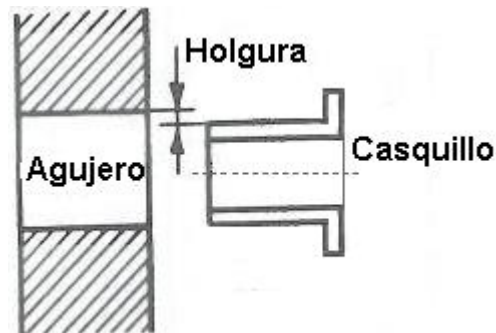


Figura 24 Instalación casquillos con juego

Se utiliza en piezas que deban de tener una holgura bien perceptible.

Su instalación es manual.

4.6.4. Reparabilidad

En el caso de requerirse un cambio de casquillo y haberse instalado con interferencia, se requiere retrabajar la orejeta e instalar un nuevo casquillo sobremedida: Consiste en sustituir el casquillo nominal, instalando otro de mayor diámetro exterior el cual conserva el mismo diámetro exterior del casquillo nominal. Las orejetas donde se alojan deben diseñarse con creces ($\phi = 3,0$ mm) para poder ser retrabajadas.

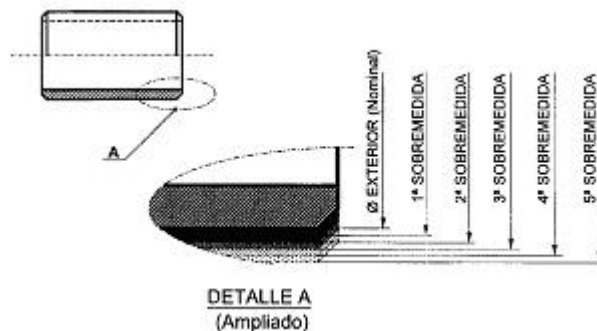


Figura 25 Diámetros de sobremedidas

En el caso de haberse instalado con juego simplemente se procederá a su retirada manual teniendo especial cuidado de no dañar los elementos de construcción sobre los que va montado. Posteriormente se sustituiría por uno igual y del mismo diámetro sin necesidad de retrabajar la orejeta.

4.6.5. Dimensionado de casquillos

Tomando como parámetro el diámetro interior del casquillo, los demás valores se definen como se muestra a continuación:

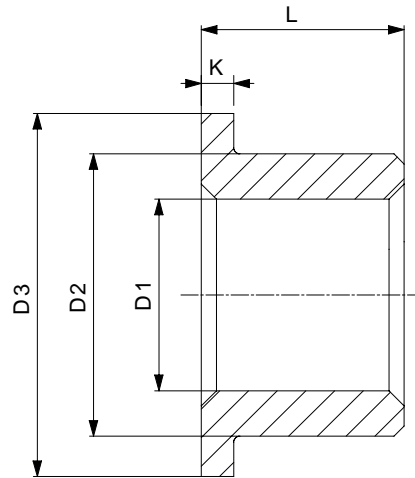


Figura 26 Dimensiones casquillo

- Espesor: $(D2-D1)/2$

	Casquillo plano pinzado	Casquillo plano no pinzado
$D1 < 8\text{mm}$	$(D2-D1)/2=1.5$	$(D2-D1)/2=1.5$
$D1 > 8\text{mm}$	$(D2-D1)/2=0.2 \cdot A$	$(D2-D1)/2=0.15 \cdot A$

Tabla 10 Diámetro exterior casquillo plano

	Casquillo con faldilla
$D1 < 23\text{mm}$	$(D2-D1)/2=1.6$
$D1 > 23\text{mm}$	$(D2-D1)/2=2.5$

Tabla 11 Diámetro exterior casquillo con faldilla

- Altura de la faldilla: $(D3-D2)/2$

$D1 < 15\text{mm}$	$(D3-D2)/2=1.7$
$D1 > 15\text{mm}$	$(D3-D2)/2=2.5$

Tabla 12 Altura de la faldilla

- Espesor de la faldilla: K

$D1 < 15\text{mm}$	$K=1.6$
$D1 > 15\text{mm}$	$K=0.25 \cdot D1-2$

Tabla 13 Espesor de la faldilla

Nota: Las ecuaciones mostradas en la página anterior corresponden a valores orientativos basados en la experiencia de EADS-CASA, que no deben tomarse nunca como valores de las dimensiones finales de los casquillos.

Nota 2: Al diámetro interior del casquillo en el caso de que se instale con interferencia y por tanto se tenga que escariar, se le dejarán unas creces de 0,5 mm en el diámetro interno para facilitar la operación de escariado.

Nota 3: Para la obtención del resto de parámetros utilizaremos el valor del D1 sin las creces ya que estos no se retrabajarán después de la instalación y deben de tener los valores de la configuración final del mismo.

4.6.6. Representación de casquillos planos:

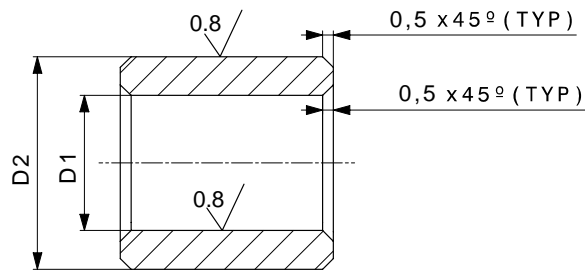


Figura 27 Representación casquillos planos

Casquillo pinzado instalado con juego. Acabado de $3.2\mu\text{m}$ excepto:

- Diámetro exterior: $0.8 \mu\text{m}$
- Diámetro interior: $0.8 \mu\text{m}$

4.6.7. Representación de casquillos con faldilla:

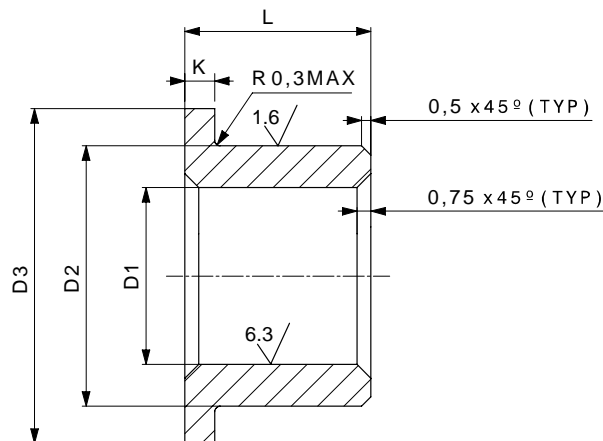


Figura 28 Representación casquillos con faldilla

Casquillo no pinzado instalado con interferencia. Acabado de $3.2\mu\text{m}$ excepto:

- Diámetro exterior: $1.6 \mu\text{m}$
- Diámetro interior
 - Antes de escariar: $6.3 \mu\text{m}$
 - Después de escariar:
 - Si sobre el se zuncha otro casquillo: $1.6 \mu\text{m}$
 - Si sobre el no se zuncha otro casquillo: $0.8 \mu\text{m}$

4.7. **Bulones**

Son los elementos que conectan las dos partes de la unión. A este tipo de bulones, y no a otros, está orientado el presente capítulo del manual.

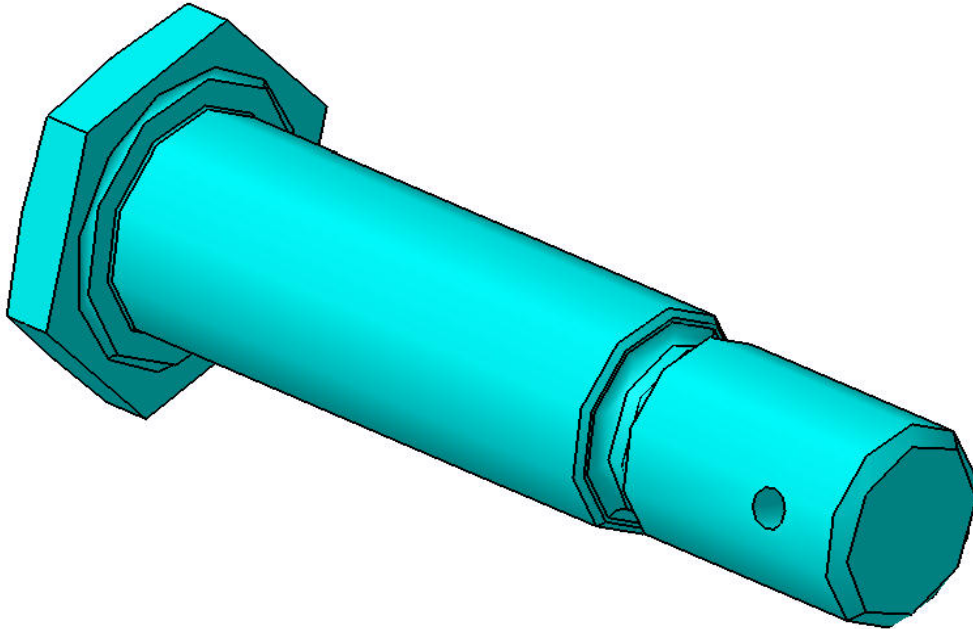


Figura 29 Vista 3D bulón

4.7.1. **Generalidades**

En uniones estructurales no se deben utilizar bulones de diámetro menor de 6.4mm.

Hay que tener en cuenta que el bulón debe ser desmontado, facilitando en lo posible esta operación desde el diseño.

Emplear siempre que sea posible, bulones normalizados.

Diseñar la unión para que la cabeza del bulón quede, respetando las configuraciones explicadas anteriormente, hacia delante o hacia arriba.

Usar dos métodos positivos para el frenado para bulón y tuerca, en uniones estructurales sometidas a rotación o en lugares de alta vibración.

Seleccionar el diámetro teniendo en cuenta un posible aumento de cargas.

La longitud de caña del bulón debe ser tal que la rosca no entre nunca en los casquillos, teniendo en cuenta las arandelas.

La rugosidad de la caña del bulón será de $0.8\mu\text{m}$.

4.7.2. Instalación de bulones

Su instalación es manual y se instalará siempre con juego (H7/g6)

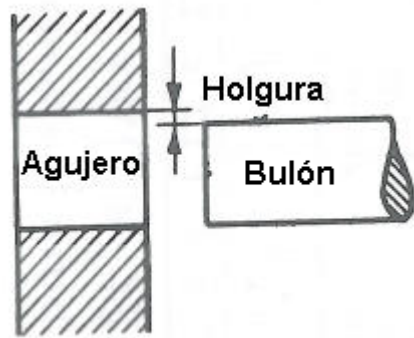


Figura 30 Instalación bulones con juego

4.7.3. Reparabilidad

Previamente a su retirada manual tendremos que retirar el pasador así como la tuerca. El pasador deberá de ser sustituido por otro nuevo mientras que la tuerca, si no resulta dañada en el desmontaje se podrá reutilizar.

Se procederá a su retirada manual teniendo especial cuidado de no dañar los elementos de construcción que van montados sobre él.

Posteriormente se sustituiría por uno igual y del mismo diámetro.

4.8. Tuercas almenadas

Es el elemento que se montará sobre el bulón y a través de cuyas almenas se insertará el pasador.

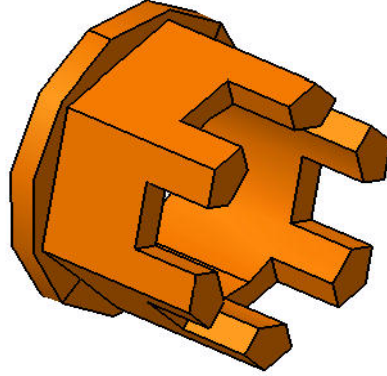


Figura 31 Vista 3D tuerca almenada

4.8.1. Generalidades

Hay que tener en cuenta que la tuerca debe ser desmontada, facilitando, en lo posible, esta operación desde el diseño.

Emplear siempre que sea posible, tuercas normalizadas.

Diseñar la unión para que la tuerca quede, respetando las configuraciones explicadas anteriormente, hacia detrás o hacia abajo.

Usar dos métodos positivos para el frenado para bulón y tuerca, en uniones estructurales sometidas a rotación o en lugares de alta vibración.

Seleccionar el diámetro teniendo en cuenta un posible aumento de cargas.

4.8.2. Instalación de tuercas

La tuerca ha de entrar completamente en la rosca del bulón, dejando 2 hilos libres entre el final de la tuerca y el final del bulón.

Esta nunca deberá sobrepasar la zona roscada del bulón y deberá de ajustarse al resto de elementos constructivos sobre los que tenga que apoyar. En el caso de no poder ajustarse, se procederá a hacerlo mediante la inclusión de arandelas.

Cuando se quieran asegurar tuercas almenadas con control de par de apriete a tornillos o bulones por medio de pasadores de aletas, a no ser que se especifique lo contrario, se apretará la tuerca hasta el margen inferior (mínimo) de 1 par de apriete especificado o seleccionado.

A continuación, si fuese necesario, mediante un par de apriete adicional de la tuerca (dentro del límite del par de apriete), se alineará el taladro del bulón con la ranura de la tuerca. La tuerca no deberá apretarse, bajo ningún concepto, por encima de valores que excedan el margen superior (máximo) del par de apriete especificado para facilitar la instalación del pasador de aletas.

4.8.3. Reparabilidad

Previamente a su retirada manual tendremos que retirar el pasador que tendrá que ser sustituido por otro nuevo. Se procederá a su retirada manual teniendo especial cuidado de no dañar los elementos de construcción que van montados sobre él.

Posteriormente se sustituirá por uno igual y aplicando la misma instalación que la descrita anteriormente.

4.9. Arandelas

Son los elementos que conectan las dos partes de la unión. A este tipo de arandelas, y no a otras, está orientado el presente capítulo del manual.



Figura 32 Vista 3D arandela

4.9.1. Generalidades

El diámetro interior de la arandela será siempre ligeramente superior al diámetro del bulón sobre el que apoyará para facilitar el montaje.

Su función es la de proteger a los elementos constructivos sobre los que apoya del par de apriete del bulón-tuerca.

Se colocarán siempre obligatoriamente una arandela en el lado de la cabeza del bulón y otra en el lado de la tuerca.

Emplear siempre que sea posible arandelas normalizadas.

La selección del espesor de la arandela dependerá de las necesidades constructivas de la unión.

4.9.2. Instalación de arandelas

Su instalación es manual y se instalará siempre un diámetro interior superior al diámetro exterior del bulón para que haya una holgura.

En el caso de que parte del diámetro del agujero de frenado del bulón para el pasador de aletas sobresalga por encima de la parte superior de la tuerca almenada se instalará una arandela extra bajo la tuerca o se aumentará el espesor de la que ya tenemos. En caso de necesitarse la instalación de más de una, instalar el mínimo número posible de arandelas ya que a mayor número mayor dificultad en la instalación. El posicionamiento y adaptación de los elementos constructivos al agujero de frenado viene ampliamente detallado en el desarrollo del proyecto.

4.9.3. Reparabilidad

Previamente a su retirada manual tendremos que retirar el pasador que será reemplazado por uno nuevo así como la tuerca y el bulón en el caso de ser la que esta apoyada sobre la cabeza de este.

Se procederá a su retirada manual teniendo especial cuidado de no dañar los elementos de construcción que van montados sobre él y se sustituirán por otra del mismo diámetro y espesor.

La tuerca y el bulón si no resultan dañados en el desmontaje se podrán reutilizar.

4.10. Pasadores

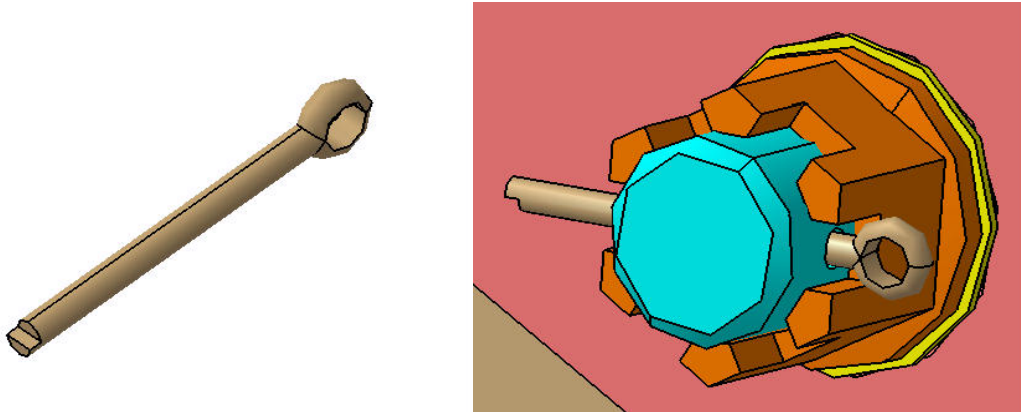


Figura 33 Vista 3D pasador

4.10.1. Generalidades

Los taladros de los tornillos, bulones o pasadores destinados a alojar los pasadores de aleta, no serán nunca agrandados para facilitar la introducción de los mismos.

Si fuera necesario acortar la longitud del pasador de aletas durante el proceso de instalación, deberá tenerse la precaución de que no queden restos del mismo atrapados en la estructura.

El equipo utilizado para acortar la longitud del pasador (en caso de ser necesario) será un cortaalambres.

Serán rechazados siempre aquellos tipos de pasadores de aletas que presenten algún tipo de muescas.

Las tuercas almenadas montadas sobre tornillos o bulones, podrán asegurarse por medio de pasadores de aletas o alambre de frenado. En caso de utilizar pasadores de aletas, se procederá a su instalación siguiendo uno de los dos métodos descritos en este capítulo.

El pasador de aletas se instalará introduciéndolo firmemente en la ranura (tuercas almenadas) o taladro (tornillos, bulones, pasadores), hasta que la cabeza del mismo haga tope con la pieza. A continuación se doblarán las aletas del pasador dependiendo del método que se haya utilizado.

El tamaño del pasador será el de mayor diámetro nominal y longitud adecuada susceptible de acoplarse al taladro y ranuras correspondientes.

4.10.2. Instalación del pasador para piezas no rotatorias

Es el método preferente.

A continuación, se introducirá firmemente el pasador de aletas, con el plano de la cabeza paralelo al eje del vástago, a través del taladro hasta que la cabeza del mismo haga tope con la pieza.

Se doblarán seguidamente, con ayuda de unos alicates, las aletas (superior e inferior) del pasador, asentándolas firmemente contra las caras de la tuerca.

Por último, en caso de ser necesario, se cortarán con ayuda de un cortaalambres las aletas del pasador con el fin de que las aletas no sobrepasen la mitad de la tuerca almenada.

4.10.3. Reparabilidad

En el caso de que hubiera que sustituir un pasador de aletas ya instalado, se procederá a su retirada con la ayuda de unos alicates y/o cortaalambres teniendo especial cuidado de no dañar la tuerca, el bulón e incluso el propio taladro y asegurándose de que no queden restos del pasador atrapados en la estructura.

Si en la operación de retirada del pasador a sustituir, no resultara dañado ningún componente de la instalación se procederá a la instalación de un nuevo pasador de aletas siguiendo el mismo proceso de instalación descrito anteriormente.

En el caso de que en la retirada del pasador a sustituir, se hubieran producido daños en algún componente de la instalación, habrá que reparar o sustituir el elemento dañado.

Los pasadores de aletas no deberán ser reutilizados. Serán renovados en cada aplicación.

4.11. Herrajes

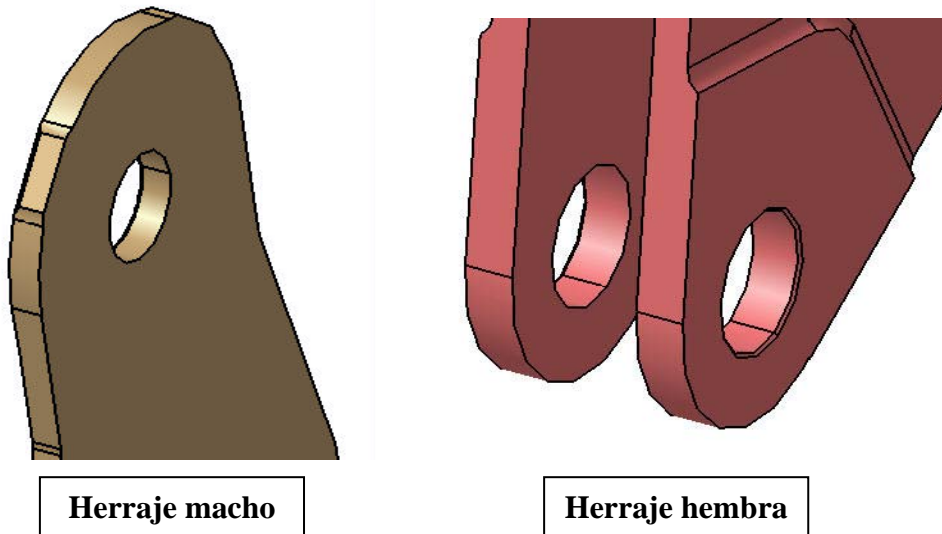


Figura 34 Vista 3D herrajes

4.11.1. Generalidades

De forma simplificada se pueden dividir los herrajes de una unión de un solo pasador en:

- Horquilla o herraje hembra: con dos patas entre las cuales se instala el herraje macho.
- Herraje macho: de una pata simple

Todas las orejetas, ya sean del herraje macho, ya sean de la hembra tienen un tratamiento similar.

Las orejetas suelen ser piezas en las que la carga se introduce puntualmente y están situadas en ambientes poco protegidos y dañinos. La fatiga, la corrosión y el acoplamiento entre ambos fenómenos pueden provocar el fallo del herraje.

Para evitar este efecto y permitir retrabajados en el alojamiento de las orejetas el diámetro exterior debe tener al menos 3 milímetros más del necesario.

$$\Phi_{ext} \geq [\Phi_{extteórico} + 3mm]$$

Ecuación 1

La longitud de las orejetas en el herraje hembra es un factor a tener en cuenta en relación con su propio espesor y la separación entre orejetas.

Un cociente entre longitud (L) y espesor de orejeta (A) mayor de 10 causará un retorcimiento de las patas al modificar apreciablemente el momento de inercia del material bruto durante su mecanizado.

$$\frac{L}{A} \leq 10$$

Ecuación 2

Un cociente entre la longitud y separación entre orejetas (B) mayor de 3 significará no poder mecanizar el herraje con una fresa cilíndrica, debido a la excesiva esbeltez de la herramienta, con lo que será necesario utilizar una de disco.

$$\frac{L}{B} \geq 3$$

Ecuación 3

En cualquier caso, y especialmente si es previsible el uso de un centro de mecanizado para fabricar el herraje, el diseño debe contemplar la alternativa de utilizar no sólo una fresa cilíndrica sino también una de disco.

La separación mínima entre orejetas de horquilla será de 8.5 mm (para permitir un correcto mecanizado)

$$B \geq 8.5mm$$

Ecuación 4

El material de los herrajes es fundamental para el buen funcionamiento de la unión, tanto desde el punto de vista de integridad estructural (rigidez, resistencia estática, tolerancia al daño), como de durabilidad, fiabilidad, reparabilidad, economía, etc.

La protección superficial del herraje ha de estar en consonancia la zona en la que esté situado, los materiales con los que tiene contacto y su propio material.

Material	Protección superficial
Aluminio	Anodizado crómico
	Cromatizado, si se escaría después del baño
Titanio	Sin protección
CRES	Pasivado
Aceros de baja aleación (4339, 4340)	Cadmiado

Tabla 14 Materiales y protecciones del herraje

La rugosidad superficial del herraje dependerá de la funcionalidad (3.2 µm, normalmente) pero la del taladro debe ser de 1.6 µm, aunque puede utilizarse hasta 3.2 µm.

El alojamiento debe tener una tolerancia axial H7 en caso de utilizar casquillos con tolerancia ISO.

Para facilitar la instalación del casquillo se achaflanar las aristas del lado del ala del casquillo (0.5x45°) si el casquillo no está ranurado.

Es necesario especificar en los planos el paralelismo de las orejetas (y alas de los casquillos zunchados), la concentricidad de los taladros (antes y después del montaje y del escariado de casquillos), y la perpendicularidad entre taladros y orejetas (antes y después del montaje y del escariado de casquillos)

Las recomendaciones para estos valores son:

- Paralelismo entre orejetas: 0.1 mm
- Concentricidad: 0.02 mm
- Perpendicularidad entre taladros y orejetas: 0.1 mm
- Simetría del ranurado: 0.1 mm (si no se dimensiona el espesor de la orejeta)
- Las tolerancias de espesor de las orejetas deben ser ± 0.15 mm
- La tolerancia de distancia entre orejetas en la horquilla debe ser +0.2 mm
- Es muy importante establecer cual es la dirección principal de la fibra (notemos que el espesor del bruto –ya sea de placa o bloque forjado- es la dirección transversal corta y, por tanto, con indicar la dirección L es suficiente y añadir las LT y ST es una redundancia que solo puede llevar con las interpretaciones, el tiempo y las modificaciones, a errores)
- Se debe de hacer mención a la instalación con interferencia de los casquillos y prever sellante para su instalación húmeda, tanto para montaje en prensa como para el térmico.

4.11.2. Dimensionado de orejetas

Son casi innumerables los diseños que anulan el margen de seguridad de una orejeta, y sólo uno el que maximiza la combinación de integridad estructural, durabilidad, fiabilidad y peso. A continuación se presentan las relaciones entre los distintos parámetros geométricos que nos pueden aproximar el diseño óptimo de la orejeta, basados en un valor conocido del diámetro del alojamiento (D)

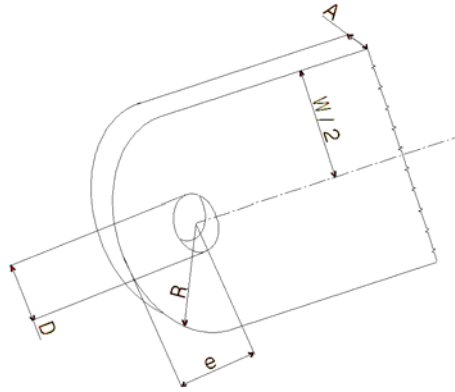


Figura 35 Dimensionado de la orejeta

- Anchura de orejeta (W)

$$W_{OPTIMO} = 1.5 \cdot D + 3mm$$

Ecuación 5

(los 3 mm son para prever el retrabajado del taladro)

$$1.3 \cdot D \leq W \leq 3.0 \cdot D$$

Ecuación 6

- Distancia frontal al borde (e)

$$e_{optimo} = D + 1.5mm$$

Ecuación 7

$$0.75 \cdot W \leq e \leq 2.0 \cdot W$$

Ecuación 8

- Radio exterior de orejeta (R)

$$R_{optimo} = D + 1.5mm$$

Ecuación 9

(los 1.5 mm son para prever retrabajados. No es necesario que el radio sea concéntrico al taladro)

$$0.5 \cdot W \leq R \leq 1.5 \cdot D$$

Ecuación 10

- Espesor de la orejeta (A)

$$A_{optimoorejetamacho} = 1.0 \cdot D$$

Ecuación 11

$$A_{optimoorejetahembra} = 0.5 \cdot D$$

Ecuación 12

$$2.5mm \leq A \leq 1.25 \cdot D$$

Ecuación 13

Nota: Las ecuaciones mostradas corresponden a valores orientativos basados en la experiencia de EADS-CASA, que no deben tomarse nunca como valores de las dimensiones finales de las orejetas.

5. DESARROLLO

5.1. *Método*

Estos dos tipos de uniones mencionadas anteriormente, se utilizarán en aquellas estructuras en las que una parte realiza un movimiento relativo sobre la otra. Estas estructuras estarán sometidas a cargas laterales que tendrán que absorber tanto las uniones pinzadas en una orejeta como las deslizantes.

Las restricciones que vamos a tener para la obtención de las normas en el programa se basa en dos tipos de limitaciones constructivas, la longitudinal y la radial.

Para las limitaciones de longitud, estas se obtendrán siempre buscando el caso más restrictivo teniendo en cuenta las tolerancias de todos y cada uno de los elementos que intervengan en la ecuación. Este proceso será sometido a estudio más adelante.

En el caso de las limitaciones radiales el proceso es diferente ya que habrá que dejar un cierto ajuste entre los elementos que van montados unos sobre otro dependiendo de diferentes criterios:

Como se puede comprobar, todos los elementos que van montados sobre el bulón tienen un ajuste con cierta holgura. Esto es debido a que en caso de fallar la rótula, siempre habría una segunda vía de movimiento que sería a través del giro de estos elementos sobre el bulón.

En cuanto a la holgura entre el casquillo con faldilla montado sobre el plano, se debe a que este ha de realizar un movimiento relativo con respecto al plano para absorber las posibles deformaciones de la estructura que se definieron anteriormente.

Los casquillos con faldilla con respecto a la orejeta van instalados con interferencia para evitar cualquier tipo de movimiento con respecto a la misma.

Para el ajuste de la unión deslizante, esta tendría simétrico el ajuste en ambas orejetas.

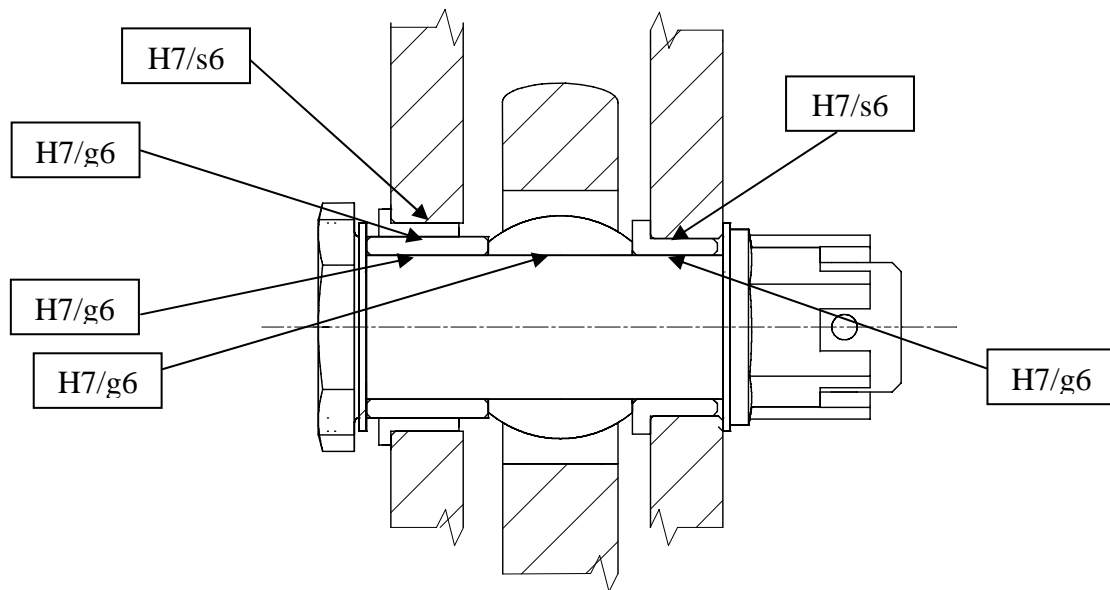


Figura 36 Tipos de ajuste de las uniones

- En el caso de las rótulas, no hay ninguna norma donde la rótula tenga una tolerancia H7. Por tanto, para conseguir un ajuste equivalente al H7/g6 con el bulón, se necesitarán definir unas nuevas tolerancias para el bulón. Las tolerancias de la rótula que se tendrán en cuenta son:

Tol +	0
Tol -	-0,013

Tabla 15 Tolerancias rótula

No se puede buscar otro tipo de ajuste similar al H7/g6 entre la norma de la rótula y los bulones normalizados debido a que estos tienen unas tolerancias que provocarían interferencia con la rótula, eliminando así el segundo camino de giro en caso de que se produjera un gripado en la rótula.

Por lo tanto, habrá que buscar un segundo camino para generar unas tolerancias entre bulón y rótula equivalentes a H7/g6. Por lo tanto, se simulará una tolerancia equivalente a H7/g6 desplazada con respecto a la verdadera.

Los valores de la tabla inferior son valores genéricos que se dan siempre para estos códigos de diámetro con las tolerancias H7/g6:

CÓDIGOS DE DIÁMETRO	H7/g6					
	H7/g6 max	H7/g6 min	H7 tol +	H7 tol -	g6 tol +	g6 tol -
3	0,024	0,004	0,012	0	-0,004	-0,012
4	0,029	0,005	0,015	0	-0,005	-0,014
5	0,029	0,005	0,015	0	-0,005	-0,014
6	0,029	0,005	0,015	0	-0,005	-0,014
7	0,035	0,006	0,018	0	-0,006	-0,017
8	0,035	0,006	0,018	0	-0,006	-0,017
9	0,035	0,006	0,018	0	-0,006	-0,017
10	0,035	0,006	0,018	0	-0,006	-0,017
12	0,041	0,007	0,021	0	-0,007	-0,02
14	0,041	0,007	0,021	0	-0,007	-0,02
16	0,041	0,007	0,021	0	-0,007	-0,02
18	0,041	0,007	0,021	0	-0,007	-0,02
20	0,05	0,009	0,025	0	-0,009	-0,025
22	0,05	0,009	0,025	0	-0,009	-0,025
24	0,05	0,009	0,025	0	-0,009	-0,025
28	0,05	0,009	0,025	0	-0,009	-0,025

Tabla 16 Ajuste H7/g6

Se tomará como ejemplo la tolerancia H7/g6 que hay entre una rótula y un bulón (Adviértase que esta tolerancia es genérica para cualquier tipo de elemento de construcción montado sobre otro)

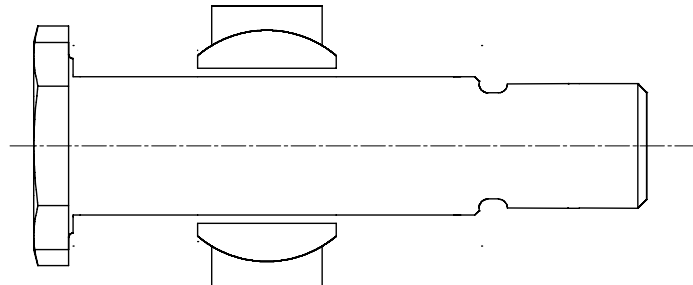


Figura 37 Holgura entre rótula y bulón

Se observa que hay una holgura entre la rótula y el bulón que tendrá sus tolerancias máximas y sus tolerancias mínimas. Si uno se acerca más a esa holgura que hay entre la rótula y el bulón se podrán establecer esas tolerancias H7/g6:

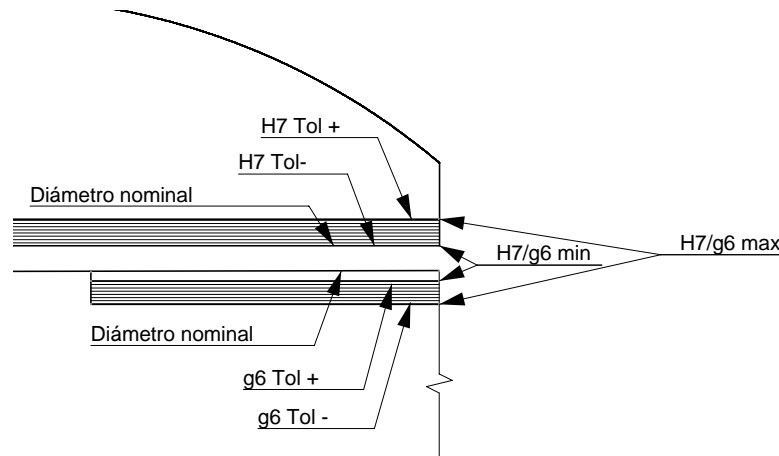


Figura 38 Ajuste esquemático H7/g6

Este es el caso en el que la rótula y el bulón fueran H7/g6. Sin embargo, al no ser este el caso, lo que se tendrá que hacer es coger las tolerancias de la rótula que da el fabricante de la misma, y obtener los diámetros máximos y mínimos del bulón, siempre respetando los valores mínimos y máximos del H7/g6.

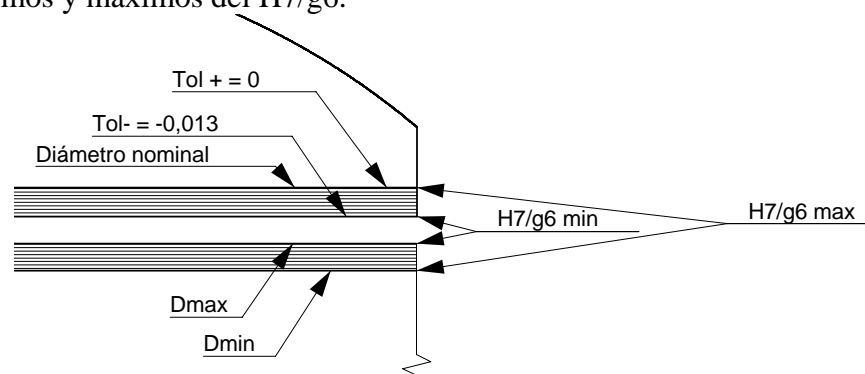


Figura 39 Ajuste esquemático H7/g6 desplazado

Por lo tanto, aunque ni la rótula tenga tolerancia H7 ni el bulón tenga g6, se consigue que ambos tengan un ajuste equivalente a H7/g6.

- En el caso de los casquillos planos el ajuste también deberá ser equivalente a H7/g6. Pero al no tener el bulón unas tolerancias g6, se tendrán que usar las mismas tolerancias en los casquillos planos que en la rótula para que hagan el mismo juego que se describió anteriormente con el bulón.
- En el caso del casquillo con faldilla que va en la orejeta pinzada, el ajuste también será equivalente a H7/g6 con el bulón, así que se le darán las mismas tolerancias que tenía la rótula y los casquillos planos para que también respete ese mismo juego.
- Para el resto de elementos que van montados se recurrirá ya a las tolerancias H7 para sus diámetros interiores y g6 o s6 para los exteriores dependiendo de si se van a instalar con juego o con interferencia.

5.2. Norma casquillos

5.2.1. Código de designación del casquillo

Casquillo	1	2	3	4	5 (en 0,1mm)
-----------	---	---	---	---	--------------

Tabla 17 Código de designación del casquillo

Ejemplo para códigos de designación:

	CAN64201	2	X	5	220
Número de pieza					
Material					
Protección					
Código de diámetro					
Longitud					

Tabla 18 Ejemplo código de designación del casquillo

5.2.1.1. Tipos de casquillos

Es necesaria la utilización de chaflanes en los bordes en el exterior para facilitar su instalación, y en el interior, para la instalación de otro casquillo o del bulón.

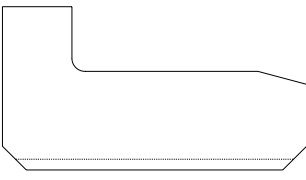
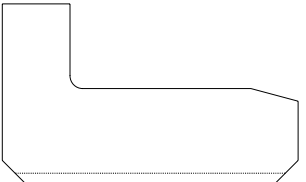

Tipo de casquillo		Código	Esquema constructivo
Con faldilla	Apoyado sobre el bulón	CAN64201	
	Apoyado sobre otro casquillo	CAN64202	
Plano		CAN64203	

Tabla 19 Tipos de casquillos

- Con faldilla pinzado (CAN64201):
Casquillo instalado con interferencia:

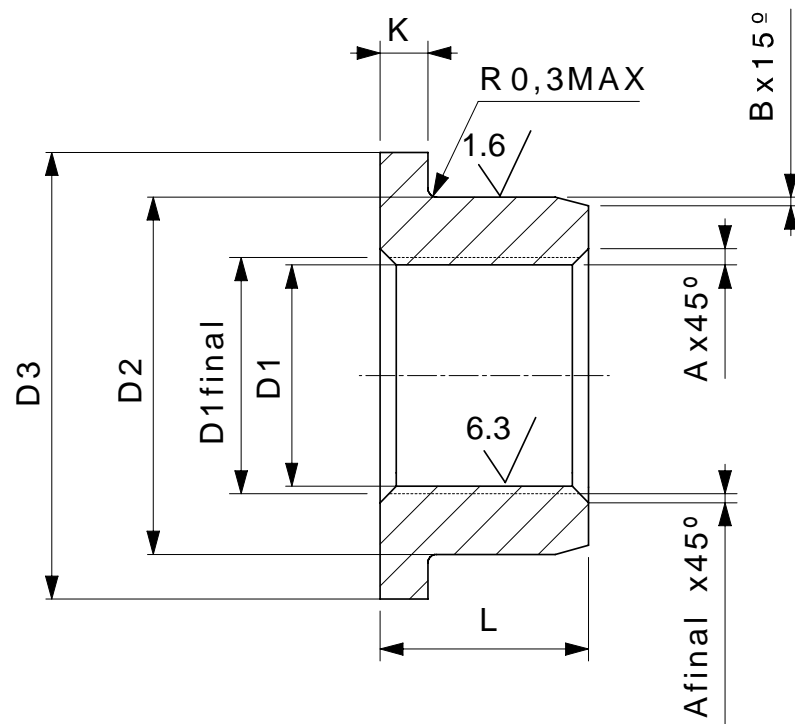


Figura 40 Dimensiones casquillo CAN64201

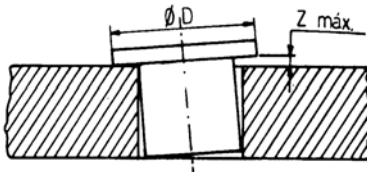
DIAMETER CODE	Apoyado sobre un bulón					CHAFLÁN		
	d ₁ (mm)	d _{1final} (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	k(mm)	A	A _{final}	B
Tol +	-	H7	s6	+0,1	0	-	+0,13	+0,13
Tol -	-			-0,1	-0,1	-	-0,13	-0,13
3	4,326	4,826	9	12	1,6	0,5	0,3	0,3
4	5,85	6,35	10	13	1,6	0,55	0,3	0,3
5	7,437	7,937	12	15	1,6	0,55	0,3	0,3
6	9,025	9,525	14	17	1,6	0,55	0,3	0,3
7	10,613	11,113	15	18	1,6	0,55	0,3	0,3
8	12,2	12,7	17	20	1,6	0,55	0,3	0,3
9	13,788	14,288	18	21	1,6	0,55	0,3	0,3
10	15,375	15,875	21	24	2	0,75	0,5	0,5
12	18,55	19,05	24	28	2,8	0,75	0,5	0,5
14	21,725	22,225	27	31	3,6	0,75	0,5	0,5
16	24,9	25,4	31	36	4,4	0,75	0,5	0,5
18	-	-	-	-	-	-	-	-
20	31,25	31,75	37	42	6	0,75	0,5	0,5
22	-	-	-	-	-	-	-	-
24	37,6	38,1	43	48	7,5	0,75	0,5	0,5
28	43,95	44,45	50	55	9,1	0,75	0,5	0,5

Tabla 20 Dimensiones casquillo CAN64201

Nota 1: Los diámetros obtenidos corresponden a los mínimos tecnológicos admisibles para las dimensiones del casquillo pudiéndose aumentar según las necesidades constructivas.

Nota 2: La altura (d3) del casquillo puede ser crítica. Por una parte, protege al herraje por lo que debe ser lo más alto posible. Por otra, está sometida a cargas laterales, cuanto más alta, mayor será la flexión a la que es sometida si la pieza que lo carga lateralmente no solapa más de 1,0 mm sobre el herraje.

Nota 3: De no estar indicado en los planos de ingeniería, la holgura máxima permitida entre el asiento de la cabeza del casquillo y la superficie del taladro del alojamiento, tendrá que ser inferior a la indicada, sin exceder además de un arco equivalente al 20% de la circunferencia del casquillo (Ver I+D-P-366):



Diámetro D (mm)	<16	16 a 26	26 a 36	36 a 46	46 a 55	>55
Holgura máx. Z (mm)	0,03	0,05	0,08	0,1	0,13	0,15

Figura 41 Holgura maxima permitida

Tabla 21 Holgura máxima permitida

Nota 4: La rugosidad del diámetro interior del casquillo con faldilla (6.3µm) es debida a la instalación con interferencia, requiriéndose un escariado posterior a la misma. En caso de instalarse con holgura utilizaremos la rugosidad de 0.8µm.

Nota 5: Se dejarán unas creces de 0,5 mm para facilitar el posterior escariado.

- Con faldilla (CAN64202):

Casquillo instalado con interferencia:

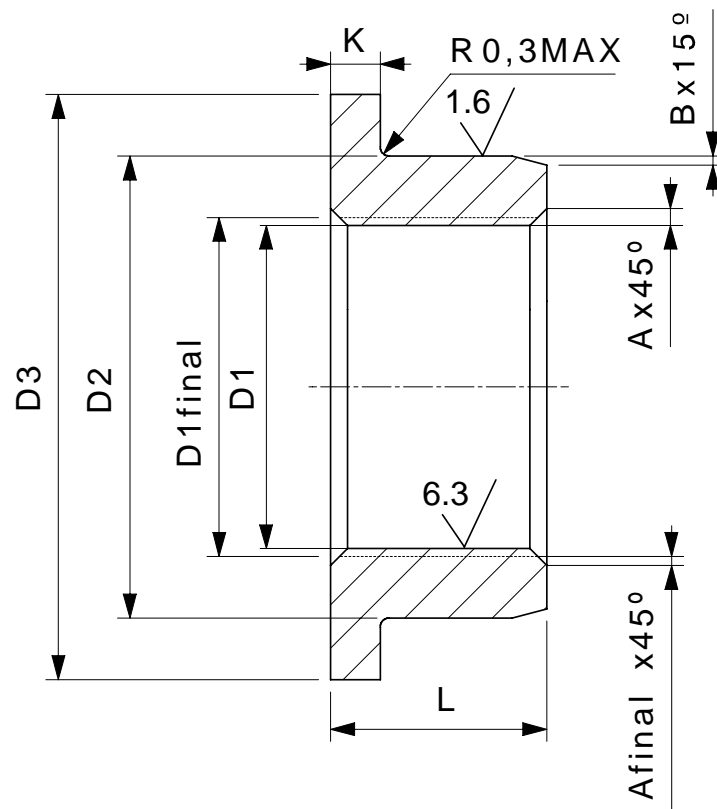


Figura 42 Dimensiones casquillo CAN64202

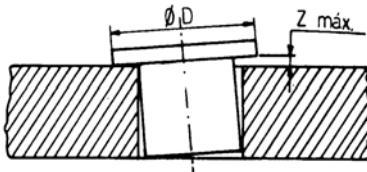
DIAMETER CODE	Apoyado sobre otro casquillo					CHAFLÁN		
	d ₁ (mm)	d _{1final} (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	k(mm)	A	A _{final}	B
Tol +	-	H7	s6	+0,1	0	-	+0,13	+0,13
Tol -	-			-0,1	-0,1	-	-0,13	-0,13
3	8,5	9	13	17	1,6	0,55	0,3	0,3
4	9,5	10	14	18	1,6	0,55	0,3	0,3
5	11,5	12	16	20	1,6	0,55	0,3	0,3
6	13,5	14	18	22	1,6	0,55	0,3	0,3
7	15,5	16	20	25	2	0,55	0,3	0,3
8	17,5	18	22	27	2,5	0,55	0,3	0,3
9	18,5	19	23	28	3	0,55	0,3	0,3
10	20,5	21	26	31	3,8	0,75	0,5	0,5
12	23,5	24	29	34	4,8	0,75	0,5	0,5
14	26,5	27	32	37	5,8	0,75	0,5	0,5
16	29,5	30	35	40	7	0,75	0,5	0,5
18	-	-	-	-	-	-	-	-
20	36,5	37	42	47	9,3	0,75	0,5	0,5
22	-	-	-	-	-	-	-	-
24	43,5	44	49	54	11,5	0,75	0,5	0,5
28	49,5	50	55	60	13,8	0,75	0,5	0,5

Tabla 22 Dimensiones casquillo CAN64202

Nota 1: Los diámetros obtenidos corresponden a los mínimos tecnológicos admisibles para las dimensiones del casquillo pudiéndose aumentar según las necesidades constructivas.

Nota 2: La altura (d3) del casquillo puede ser crítica. Por una parte, protege al herraje por lo que debe ser lo más alto posible. Por otra, está sometida a cargas laterales, cuanto más alta, mayor será la flexión a la que es sometida si la pieza que lo carga lateralmente no solapa más de 1,0 mm sobre el herraje.

Nota 3: De no estar indicado en los planos de ingeniería, la holgura máxima permitida entre el asiento de la cabeza del casquillo y la superficie del taladro del alojamiento, tendrá que ser inferior a la indicada, sin exceder además de un arco equivalente al 20% de la circunferencia del casquillo (Ver I+D-P-366):



Diámetro D (mm)	<16	16 a 26	26 a 36	36 a 46	46 a 55	>55
Holgura máx. Z (mm)	0,03	0,05	0,08	0,1	0,13	0,15

Figura 43 Holgura maxima permitida

Tabla 23 Holgura maxima permitida

Nota 4: La rugosidad del diámetro interior del casquillo con faldilla (6.3µm) es debida a la instalación con interferencia, requiriéndose un escariado posterior a la misma. En caso de instalarse con holgura utilizaremos la rugosidad de 1.6µm

Nota 5: Se dejarán unas creces de 0,5 mm para facilitar el posterior escariado

- Plano (CAN64203):

Casquillo instalado con juego

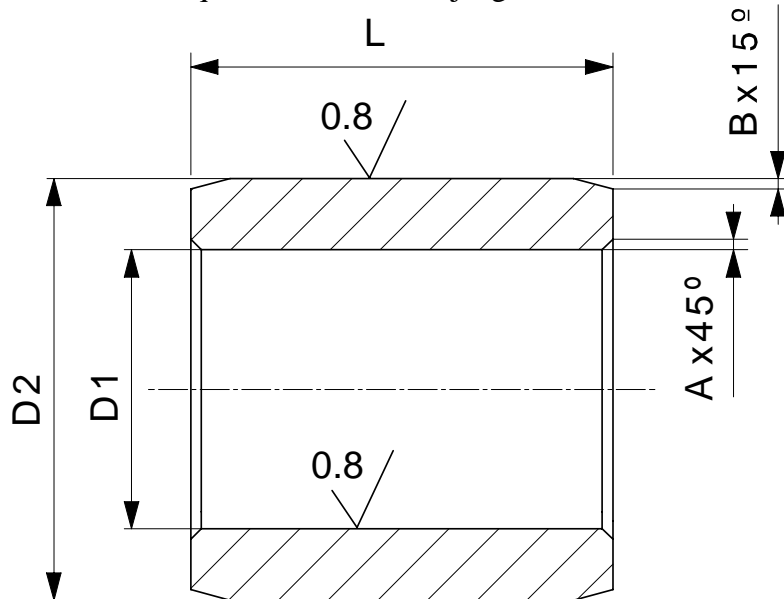


Figura 44 Dimensiones casquillo CAN64203

DIAMETER CODE	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	CHAFLÁN	
			A	B
Tol +	0	g6	+0,13	+0,13
Tol -	-0,013		-0,13	-0,13
3	4,826	9	0,3	0,3
4	6,35	10	0,3	0,3
5	7,937	12	0,3	0,3
6	9,525	14	0,3	0,3
7	11,113	16	0,5	0,5
8	12,7	18	0,5	0,5
9	14,288	19	0,5	0,5
10	15,875	21	0,5	0,5
12	19,05	24	0,5	0,5
14	22,225	27	0,5	0,5
16	25,4	30	0,5	0,5
18	-	-	-	-
20	31,75	37	0,5	0,5
22	-	-	-	-
24	38,1	44	0,5	0,5
28	44,45	50	0,5	0,5

Tabla 24 Dimensiones casquillo CAN64203

Nota 1: Los diámetros obtenidos corresponden a los mínimos tecnológicos admisibles para las dimensiones del casquillo pudiéndose aumentar según las necesidades constructivas.

Nota 2: El dimensionado del casquillo plano se hace en función del diámetro del bulón exclusivamente ya que apoyan sobre este en todos los casos no pudiendo montarse uno plano sobre otro casquillo.

5.2.1.2. *Material*

Material	CRES 17-4PH	CRES 15-5PH	Al-Bronce	Al-Ni-Bronce	Be-Cu
Código del material	1	2	3	4	5

Tabla 25 Material casquillos5.2.1.3. *Protección*

Protección superficial	Sin protección	Pasivado	Cadmiado	Cromado	Pasivado + Cadmiado
Código protección	V	W	X	Y	Z

Tabla 26 Protección casquillos

Nota 1: El pasivado en los casquillos instalados con interferencia no se aplicará en el diámetro interior ya que una vez instalados se tienen que escariar. El diámetro interior se irá pasivando progresivamente de manera natural.

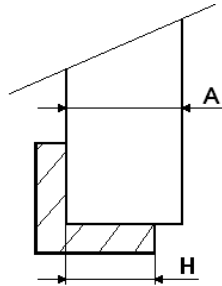
Nota 2: El cadmiado solamente se utilizará en el diámetro exterior del casquillo instalado con interferencia en aquellas uniones que lo requieran, rechazándose en aquellos herrajes que sean de CRES, inconel o titanio.

Nota 3: El cromado solo se utilizará para el diámetro exterior del casquillo en aquellas uniones que lo requieran.

5.2.1.4. Código de diámetro

5.2.1.5. Longitud

El casquillo con faldilla ha de tener una longitud máxima interior menor al espesor mínimo de la orejeta en la que se aloja:



$$A_{\min} - H_{\max} \geq 0,25 \text{ mm}$$

Ecuación 14

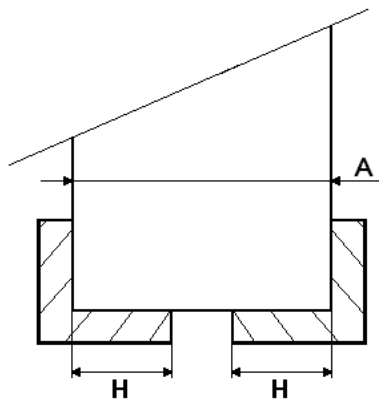
Con tolerancias normales ($A^{\pm 0,15}$ y $H^{0}_{-0,13}$) la longitud nominal del casquillo será:

$$H = A - 0,4$$

Ecuación 15

Figura 45 Longitud casquillo vs espesor orejeta

En el caso de doble casquillo, la holgura mínima ha de ser de 0,15 mm para lo cual:



$$A_{\min} - 2 \cdot H_{\max} \geq 0,15 \text{ mm}$$

Ecuación 16

Con tolerancias normales ($A^{\pm 0,15}$ y $H^{0}_{-0,13}$) la longitud nominal del casquillo será:

$$H = A/2 - 0,15$$

Ecuación 17

Figura 46 Longitud doble casquillo vs espesor orejeta

Nota: Las ecuaciones mostradas corresponden a valores orientativos basados en la experiencia de EADS-CASA, que no deben tomarse nunca como valores de las dimensiones finales.

5.3. Uniones deslizantes

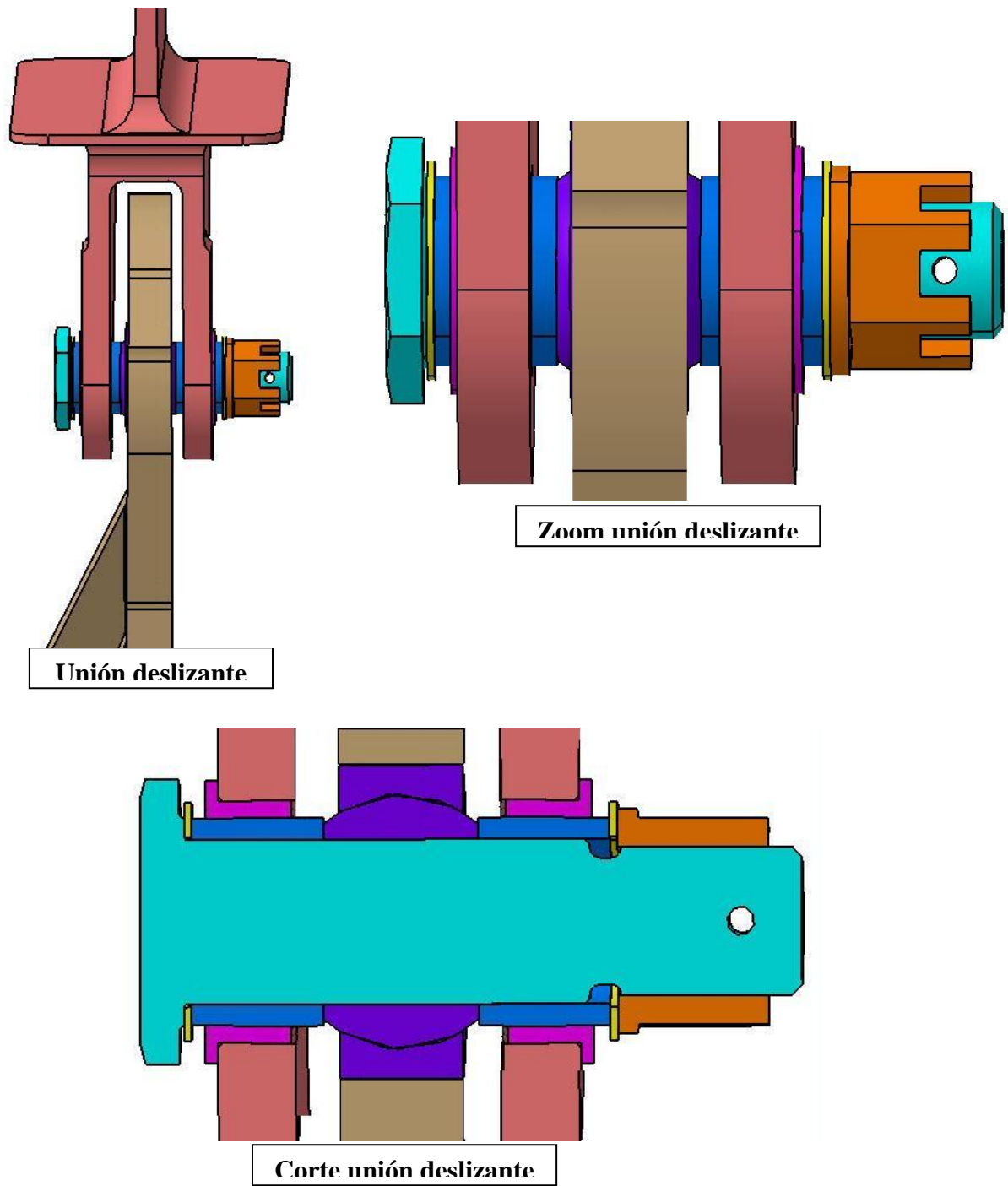


Figura 47 Vistas 3D unión deslizante

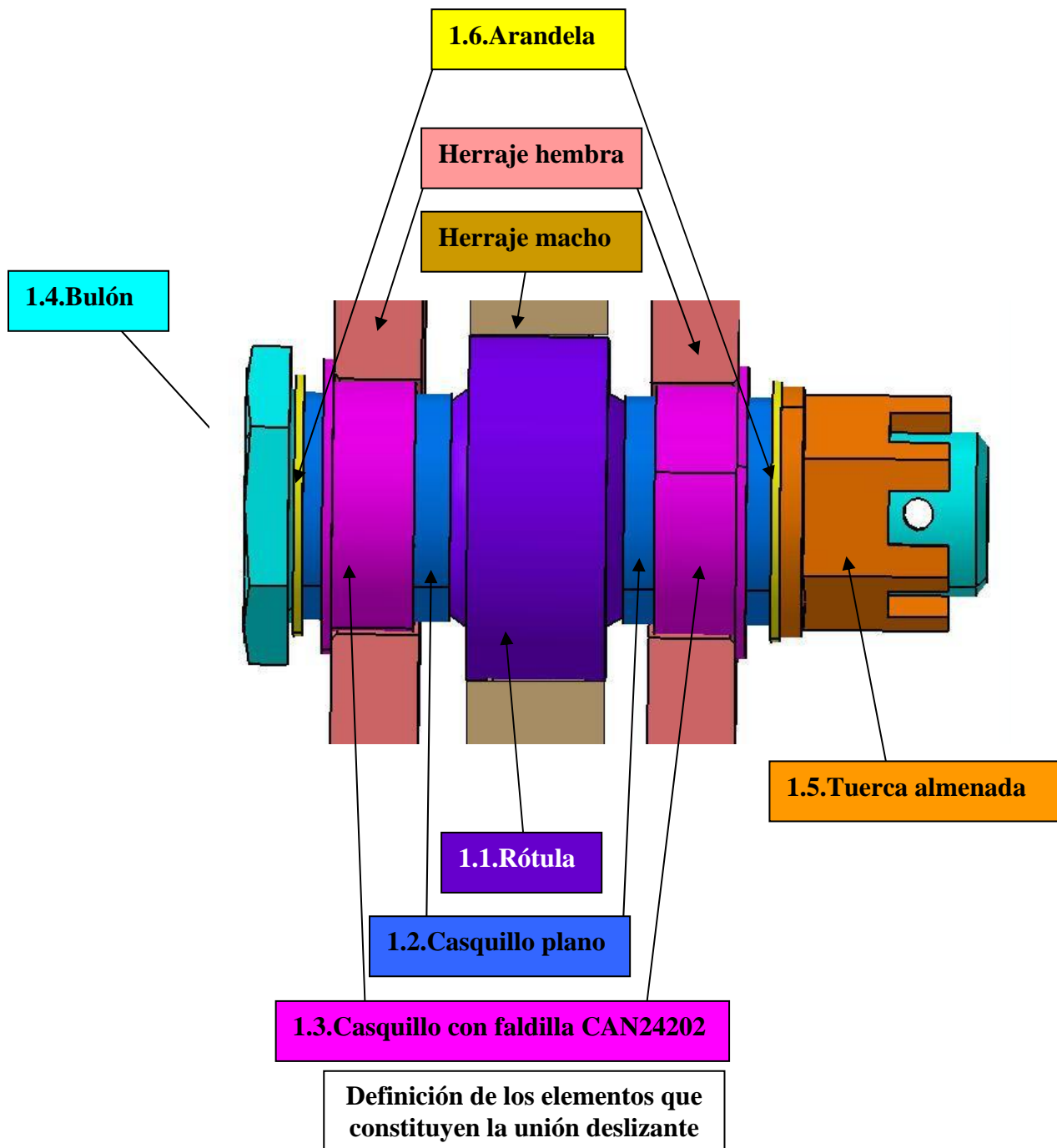


Figura 48 Partes de la unión deslizante

La vista general del programa mostrada a continuación, será donde posteriormente se verá al detalle cada uno de los puntos que lo conforman:

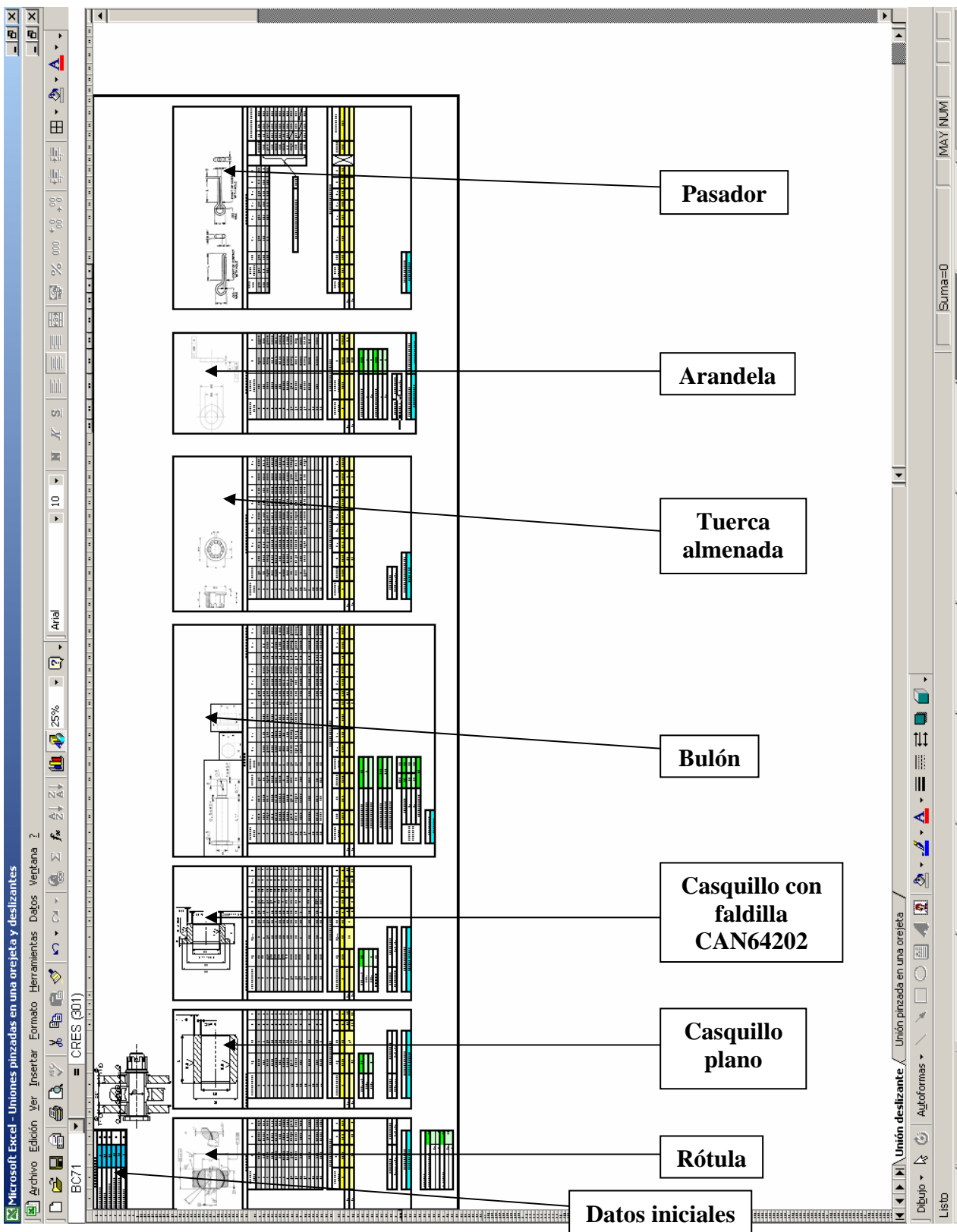


Figura 49 Vista general programa para uniones deslizantes

La obtención del dimensionado de todos aquellos elementos que componen la unión deslizante dependerá de 5 parámetros a partir de los cuales el programa calculará el resto de parámetros necesarios para dimensionar la unión. Los parámetros a introducir serán:

- Código rótula → 1
- Gap del eje → 2
- Espesor de las orejetas hembra → 3
- Tolerancias espesor orejetas hembra → 4
- Gap de ajuste → 5

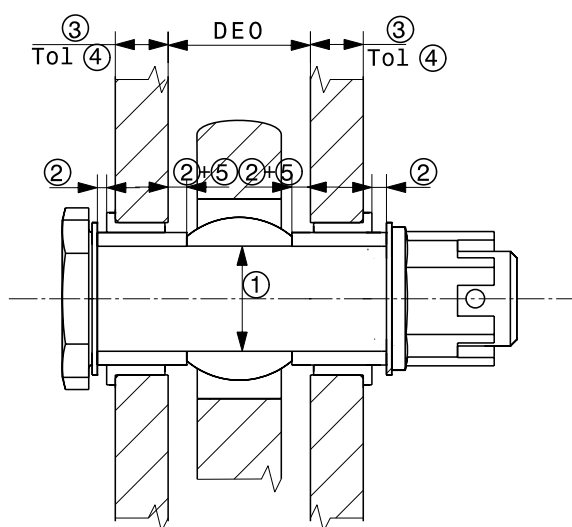


Figura 50 Datos iniciales para dimensionado unión deslizante

Se tendrá que dejar un gap del eje (2) que será el que contemple los movimientos que puede hacer el casquillo con faldilla sobre el plano. A este gap del eje se le añadirá un gap de ajuste (5) en la cara interna cuya función será la de evitar que en estos movimientos pudiera pegar la rótula contra el herraje hembra y por tanto dañarse.

Se introducirán unos valores por defecto para mostrar un ejemplo de un tipo de configuración en este tipo de unión:

DATOS INICIALES		
CÓDIGO RÓTULA	5	1
GAP DEL EJE	1,5	2
ESPEJOR HORQUILLA	25	3
ESPEJOR HORQUILLA TOL +	0,15	4
ESPEJOR HORQUILLA TOL -	-0,15	
GAP DE AJUSTE	0,5	5

Tabla 27 Datos iniciales para dimensionado unión deslizante

5.3.1. Rótula

La norma se corresponde con EN4538-3

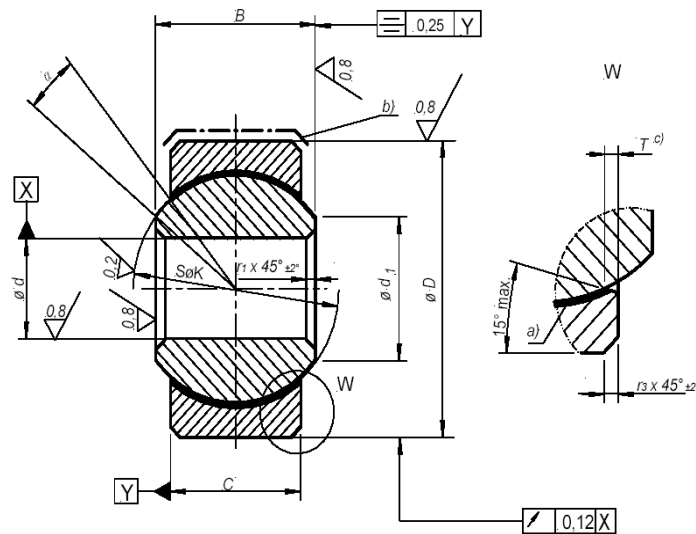


Figura 51 Dimensiones de la rótula

ROTULA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	d	D	B
	3	4,826	14,287	7,14
	4	6,35	16,667	8,71
	5	7,937	19,05	9,53
	6	9,525	20,637	10,31
	7	11,113	23,017	11,1
	8	12,7	25,4	12,7
	9	14,288	27,78	14,28
	10	15,875	30,163	15,88
	12	19,05	36,513	19,05
	14	22,225	39,687	22,23
	16	25,4	44,45	25,4
	18	-	-	-
	20	31,75	50,8	27,76
	22	-	-	-
	24	38,1	61,912	33,32
	28	44,45	71,437	38,89
DIMENSIONES RÓTULA				
	CÓDIGO DIÁMETRO	d	D	B
	5	7,937	19,05	9,53
Tol +	-	0	0	0
Tol -	-	-0,013	-0,013	-0,06

Tabla 28 Dimensiones de la rótula

Estos son los datos iniciales que se manejarán para la obtención de las dimensiones de la rótula, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro.

- A partir de la rótula se podrán obtener otros datos importantes como son la distancia entre orejetas hembra y el diámetro del agujero de la orejeta hembra:

DISTANCIA	
ENTRE OREJETAS HEMBRA	14
Tol +	0
Tol -	-0,2
Dint OREJETA	15
Tol +	H7
Tol -	

Tabla 29 Distancia entre orejetas hembra y Dint orejeta

De donde DEO es la distancia entre orejetas hembra y $D_{\text{intorejeta}}$ corresponde a diámetro del alojamiento de la orejeta hembra, que se obtienen de:

$$DEO = B_{\text{ROTULA}} + B_{\text{TOL+}} + 2 \cdot (< 2 > + < 5 >)$$

Ecuación 18

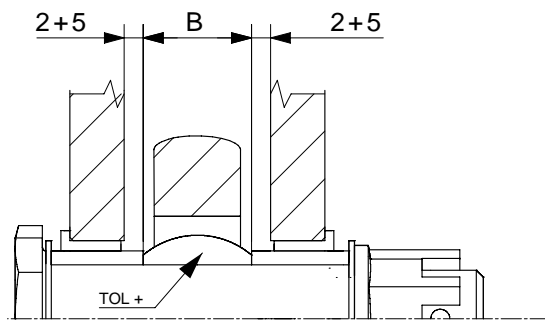


Figura 52 Distancia entre orejetas

$$D_{\text{intorejeta}} = C_{\text{CFT2}}$$

Ecuación 19

Por último, para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

LAMINACIÓN	PROTECCIÓN
Rótula laminada	Cadmiado

Tabla 30 Selección laminación y protección rótula

que se obtendrán de esta otra tabla:

LAMINACIÓN		
Alojamiento laminado	S	R
Rótula laminada	R	
PROTECCIÓN		
Cromado		Z
Cadmiado	Z	

Tabla 31 Laminación y protecciones rótula

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA RÓTULA
EN4538-3R5AZ

Tabla 32 Norma rótula

Donde cada uno de los datos pertenecientes al mismo corresponde a:

	EN4538-3	R	5	A	Z
Número de pieza					
Código de laminación					
Código de diámetro					
Tecnología					
Protección					

Tabla 33 Códigos de la norma de la rótula

5.3.2. Casquillo plano

La norma se corresponde con CAN64203

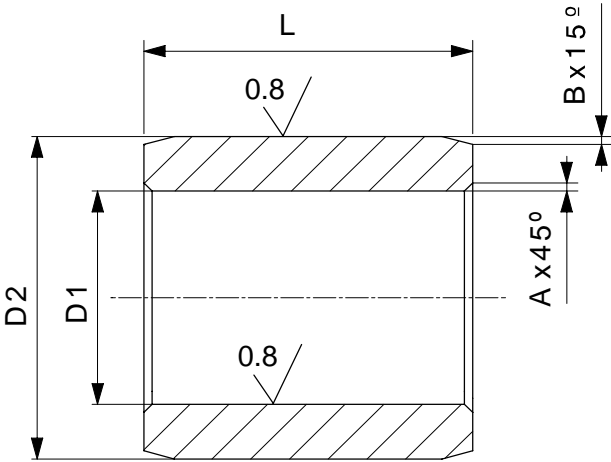


Figura 53 Dimensiones casquillo plano

CASQUILLO PLANO					
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D2	A	B
	3	4,826	9	0,3	0,3
	4	6,35	10	0,3	0,3
	5	7,937	12	0,3	0,3
	6	9,525	14	0,3	0,3
	7	11,113	16	0,5	0,5
	8	12,7	18	0,5	0,5
	9	14,288	19	0,5	0,5
	10	15,875	21	0,5	0,5
	12	19,05	24	0,5	0,5
	14	22,225	27	0,5	0,5
	16	25,4	30	0,5	0,5
	18	-	-	-	-
	20	31,75	37	0,5	0,5
	22	-	-	-	-
	24	38,1	44	0,5	0,5
	28	44,45	50	0,5	0,5
DIMENSIONES CPT3					
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D2	A	B
	5	7,937	12	0,3	0,3
Tol +	-	0	g6	+0,13	+0,13
Tol -	-	-0,013		-0,13	-0,13

Tabla 34 Dimensiones casquillo plano

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del casquillo plano, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

- La longitud del casquillo plano en función de los datos iniciales insertados es:

CP Long (L)	31
CP Tol +	0
CP Tol -	-0,1

Tabla 35 Longitud casquillo plano

de donde L corresponde a la longitud del casquillo plano, que se obtiene de

$$L = \frac{DEO + DEO_{TOL+}}{2} + <3> + <4> + K_{CFT2} + K_{TOL+} + <2> - \left(\frac{B_{ROTULA} + B_{TOL-}}{2} \right)$$

Ecuación 20

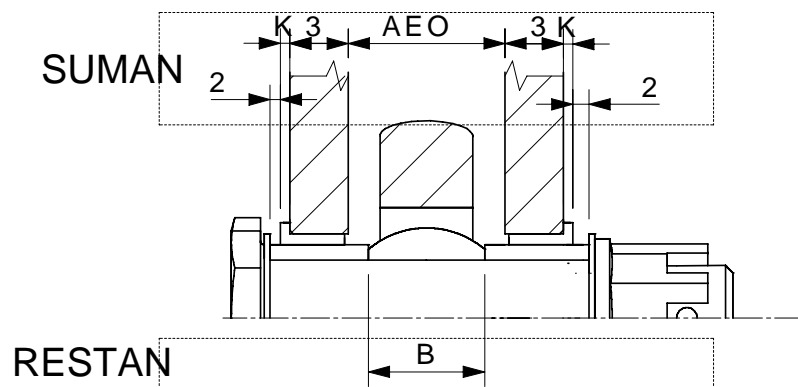


Figura 54 Longitud casquillo plano

El valor de la longitud del casquillo se obtendrá procurando obtener la longitud máxima teniendo en cuenta tolerancias. Esto es debido a que en todos los casos el casquillo plano ha de estar pinzado cuando se le aplique un par de apriete en la unión, para ello no puede tener nunca holgura axial.

Por último, para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL	PROTECCIÓN
Al-Ni-Bronce	Cadmiado

Tabla 36 Selección material y protección casquillo plano

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL		
CRES 17-4PH	1	4
CRES 15-5PH	2	
Al-Bronce	3	
Al-Ni-Bronce	4	
Be-Cu	5	

PROTECCIÓN SUPERFICIAL		
Sin protección	A	C
Pasivado	B	
Cadmiado	C	
Cromado	D	
Pasivado+Cadmiado	E	

Tabla 37 Materiales y protecciones casquillo plano

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA CASQUILLO
CAN64203-4C5310

Tabla 38 Norma casquillo plano

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	CAN64203	4	C	5	310
Número de pieza					
Material					
Protección					
Código de diámetro					
Longitud					

Tabla 39 Códigos de la norma del casquillo plano

5.3.3. Casquillo con faldilla CAN 64202

La norma se corresponde con CAN64202

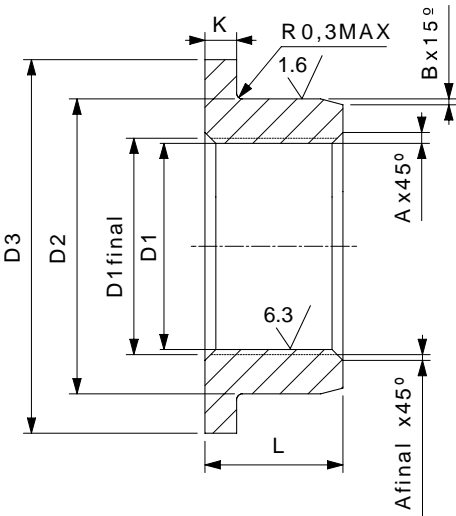


Figura 55 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202

CASQUILLO CON FALDILLA									
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D1 final	D2	D3	K	A	A final	B
	3	8,5	9	13	17	1,6	0,55	0,3	0,3
	4	9,5	10	14	18	1,6	0,55	0,3	0,3
	5	11,5	12	16	20	1,6	0,55	0,3	0,3
	6	13,5	14	18	22	1,6	0,55	0,3	0,3
	7	15,5	16	20	25	2	0,55	0,3	0,3
	8	17,5	18	22	27	2,5	0,55	0,3	0,3
	9	18,5	19	23	28	3	0,55	0,3	0,3
	10	20,5	21	26	31	3,8	0,75	0,5	0,5
	12	23,5	24	29	34	4,8	0,75	0,5	0,5
	14	26,5	27	32	37	5,8	0,75	0,5	0,5
	16	29,5	30	35	40	7	0,75	0,5	0,5
	18	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	36,5	37	42	47	9,3	0,75	0,5	0,5
	22	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	43,5	44	49	54	11,5	0,75	0,5	0,5
	28	49,5	50	55	60	13,8	0,75	0,5	0,5
DIMENSIONES CFT2									
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D1 final	D2	D3	K	A	A final	B
	5	11,5	12	16	20	1,6	0,55	0,3	0,3
Tol +	-	-	H7	s6	+0,1	0	-	+0,13	+0,13
Tol -	-	-			-0,1	-0,1	-	-0,13	-0,13

Tabla 40 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del casquillo con faldilla, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

Asimismo, se puede observar que el diámetro interno del casquillo con faldilla es inferior al diámetro externo del casquillo plano donde debe apoyar. Esto es debido a que al instalarse el casquillo zunchado con interferencia habrá que dejar unas creces de 0,5 mm para posteriormente escariarlo.

- La longitud del casquillo zunchado en función de los datos iniciales insertados es:

CF Long (L)	26
CF Tol +	0
CF Tol -	-0,1
GAP MIN	0,25

Tabla 41 Longitud casquillo con faldilla CAN64202

De donde L corresponde a la longitud del casquillo zunchado, que se obtiene de:

$$L = < 3 > + < 4 >^- + K + K_{TOL-} - GAPMIN$$

Ecuación 21

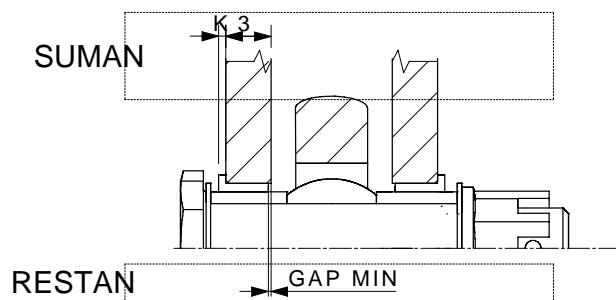


Figura 56 Longitud casquillo con faldilla CAN64202

El resultado se redondea a la baja para evitar que el casquillo con faldilla pudiera sobrepasar el espesor de la orejeta hembra donde se inserta.

Por último, para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL	PROTECCIÓN
CRES 15-5PH	Cadmiado

Tabla 42 Selección material y protección casquillo con faldilla CAN64202

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL		
CRES 17-4PH	1	2
CRES 15-5PH	2	
Al-Bronce	3	
Al-Ni-Bronce	4	
Be-Cu	5	

PROTECCIÓN SUPERFICIAL		
Sin protección	A	C
Pasivado	B	
Cadmiado	C	
Cromado	D	
Pasivado+Cadmiado	E	

Tabla 43 Materiales y protecciones casquillo con faldilla CAN64202

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA CASQUILLO
CAN64202-2C5260

Tabla 44 Norma casquillo con faldilla CAN64202

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	CAN64202	2	C	5	260
Número de pieza					
Material					
Protección					
Código de diámetro					
Longitud					

Tabla 45 Códigos de la norma del Casquillo con faldilla CAN64202

5.3.4. Bulón

Las dimensiones para la cabeza del bulón se corresponden con NSA5042 y las dimensiones para el final de la rosca se corresponden con NSA2000.

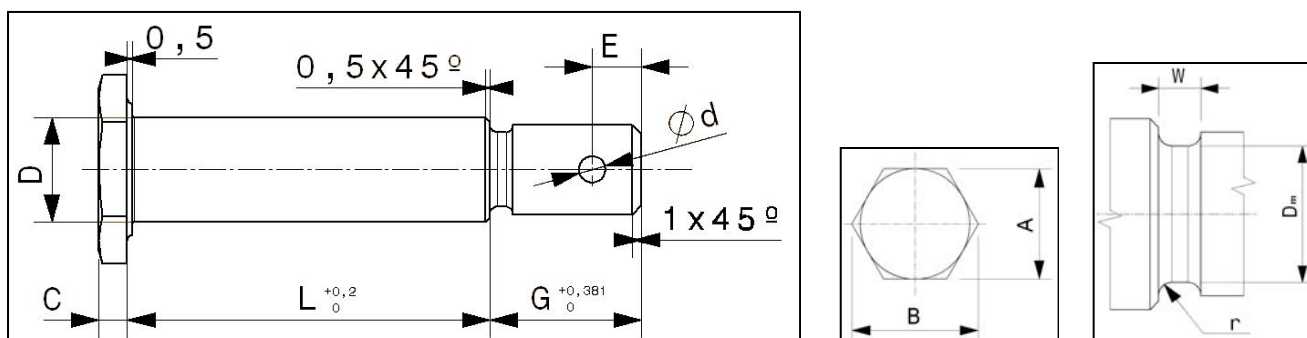


Figura 57 Dimensiones bulón

BULÓN												CRES CROMADO		
CÓDIGO DE DIÁMETRO	Dmax	Dmin	ROSCA	PASO ROSCA	Amax	Amin	B	C	d	Wmax	Wmin	r	Dm max	Dm min
3	4,809	4,802	0,19	32	-	-	-	-	1,78	-	-	-	-	-
4	6,332	6,321	0,25	28	11,15	10,92	12,95	2,5	1,93	2,337	1,829	0,762	5,08	4,978
5	7,919	7,908	0,3125	28	12,75	12,5	14,73	2,5	1,93	2,692	2,184	0,762	6,477	6,375
6	9,507	9,496	0,3125	24	14,33	14,05	16,51	3	1,93	2,692	2,184	0,762	8,001	7,848
7	11,094	11,078	0,3750	24	17,53	17,25	20,07	3	2,69	3,175	2,667	0,762	9,271	9,118
8	12,681	12,665	0,4375	20	19,1	18,82	22,1	3,5	2,69	3,175	2,667	0,762	10,922	10,769
9	14,269	14,253	0,500	20	22,3	22	25,7	3,5	2,69	3,505	2,997	0,762	12,319	12,166
10	15,856	15,84	0,5625	18	23,9	23,6	27,5	3,5	3,58	3,505	2,997	1,016	13,843	13,69
12	19,03	19,009	0,6250	18	27,026	26,721	31,242	4	3,58	3,912	3,404	1,016	16,891	16,687
14	22,205	22,184	0,75	16	31,801	31,801	36,576	5	3,58	4,42	3,912	1,016	19,685	19,481
16	25,38	25,359	0,875	14	36,576	36,246	42,164	5	3,58	5,131	4,623	1,016	22,479	22,275
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	31,728	31,7	1,25	12	-	-	-	-	3,58	5,131	4,623	1,016	28,829	28,625
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	38,078	38,05	1,5	12	-	-	-	-	3,58	5,131	4,623	1,016	35,179	34,925
28	44,428	44,4	1,75	12	-	-	-	-	3,58	5,131	4,623	1,016	41,529	41,275

DIMENSIONES BULÓN														
CÓDIGO DE DIÁMETRO	MAX	MIN	ROSCA	PASO ROSCA	Amax	Amin	B	C	d	Wmax	Wmin	r	Dm max	Dm min
5	7,919	7,908	0,3125	28	12,75	12,5	14,73	2,5	1,93	2,692	2,184	0,762	6,477	6,375
Tol +	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,25	-	-	-	-	-
Tol -	-	-	-	-	-	-	-	-0,1	0	-	-	-	-	-

Tabla 46 Dimensiones bulón

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del bulón, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula

- La longitud de la caña en función de los datos iniciales insertados es:

LONGITUD CAÑA (L)	73
LONGITUD CAÑA TOL +	0,2
LONGITUD CAÑA TOL -	0

Tabla 47 Longitud caña bulón

De donde L corresponde a la longitud de la caña del bulón, que se obtiene de:

$$L = 0,5 + (T + T_{TOL+}) + (B_{ROTULA} + B_{TOL+}) + 2 \cdot (L_{CPT3} + L_{TOL+})$$

Ecuación 22

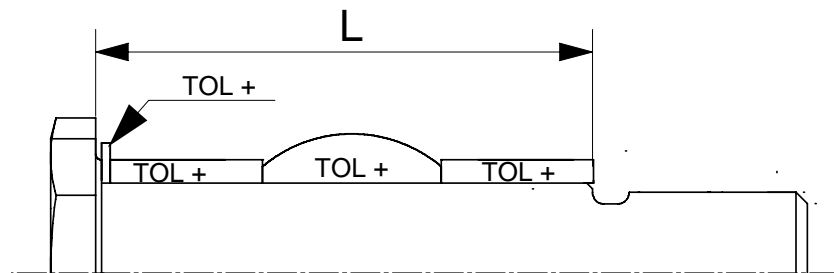


Figura 58 Longitud caña bulón

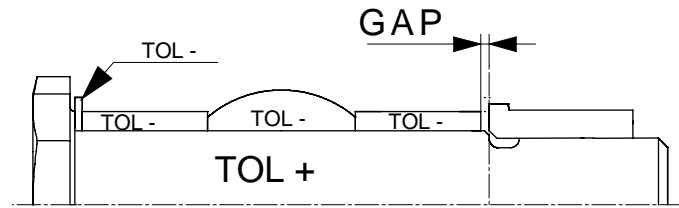
Se puede observar que hemos utilizado la suma de las tolerancias positivas de cada uno de los elementos que se montan sobre la caña del bulón debido a que en el caso de ser el bulón más corto que el resto de los elementos que lo componen, parte del casquillo plano quedaría sin apoyar sobre la superficie del bulón (en el aire) Por lo tanto también estará redondeado al alza.

Como norma se tiene que insertar obligatoriamente una arandela en el lado de la cabeza del bulón y otra en el lado de la tuerca.

No se ha considerado la arandela del lado de la tuerca porque en cualquier caso diferente al más restrictivo siempre quedará un gap a llenar con una arandela, y de este modo se evitará el tener que introducir otra arandela o aumentar el espesor de la que ya se tenía, disminuyendo además la longitud del bulón.

Esta arandela por cálculo siempre será de espesor de superior al GAP, sabiendo que el GAP, por cálculo, nunca sobrepasará dicho valor máximo permitido en la norma.

En el caso de que los elementos de construcción hubieran quedado en línea con el final de la caña del bulón, la arandela del lado de la tuerca se añadirá de todos modos sobresaliendo todo su espesor.

**Figura 59 GAP máximo**

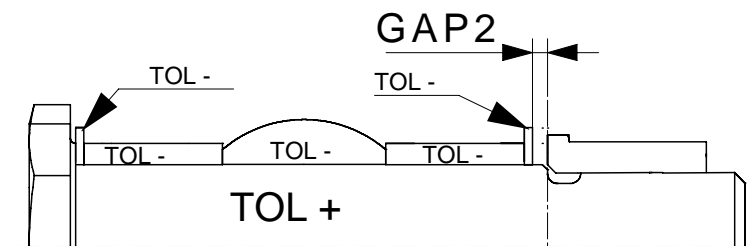
$$GAP = L_{TOL+} - [(T_{TOL-} - T_{TOL+}) + (B_{TOL-} - B_{TOL+}) + 2 \cdot (L_{TOL-} - L_{TOL+})] < 0,8$$

Ecuación 23

GAP MAX	0,660
---------	-------

Tabla 48 GAP máximo

Si se tuviera en cuenta el espesor de la arandela del lado de la tuerca para la obtención de la longitud del bulón, este GAP sobrepasaría ese valor de 0,8 teniéndose que incluir en algunos casos otra arandela extra o aumentar más el espesor de la que ya se ha añadido y que no se podría saber hasta el momento del montaje.

**Figura 60 GAP máximo con arandela**

$$GAP2 = L_{TOL+} - [(T_{TOL-} - T_{TOL+}) + (B_{TOL-} - B_{TOL+}) + 2 \cdot (L_{TOL-} - L_{TOL+}) + (T_{TOL-} - T_{TOL+})] > 0,8$$

Ecuación 24

- La longitud de la parte roscada en función de los datos iniciales insertados es:

LONGITUD ROSCA (G)	11,9
LONGITUD ROSCA TOL +	0,381
LONGITUD ROSCA TOL -	0

Tabla 49 Longitud rosca bulón

De donde G corresponde a la longitud de la parte roscada del bulón, que se obtiene de:

$$G = \left[(T_{L.T.} + T_{TOL+}) + (A_{TUERCA} + A_{TOL+}) + \frac{2 \cdot PR}{25,4} \right]$$

Ecuación 25

$T_{L.C.B.}$ = Espesor arandela del lado de la cabeza del bulón. Se definirá en el apartado de arandelas

$T_{L.T.}$ = Espesor arandela del lado de la tuerca. Se definirá en el apartado de arandelas

A_{TUERCA} y A_{TOL+} se definirá en el apartado de la tuerca almenada

PR = Paso de rosca; es el número de hilos de rosca por pulgada.

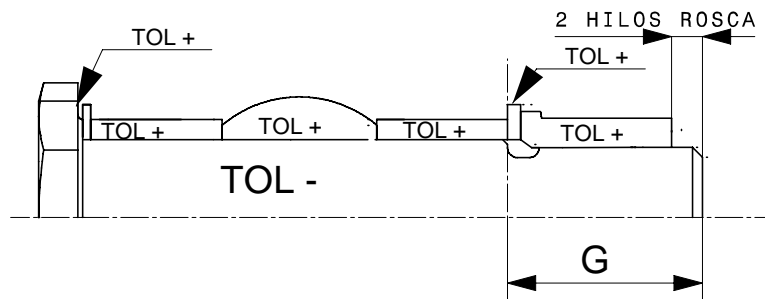


Figura 61 Longitud rosca bulón

La obtención de la longitud de la parte roscada del bulón, se calcula llevando todos los elementos que sobre esta van montados hacia la derecha (tolerancias positivas) y dejando dos hilos de rosca que es la distancia mínima a borde. En el caso contrario podría suceder que la tuerca sobrepasase la longitud de G sobresaliendo y no pudiendo dejar la distancia mínima de 2 hilos de rosca en el caso más desfavorable.

- La distancia del agujero de frenado en función de los datos iniciales insertados es:

E corresponde a la distancia del agujero de frenado, que se obtiene de:

$$E_{MAX} = (G + G_{TOL-}) - \left[(T_{L.T.} + T_{TOL+}) + (L_{TUERCA} + L_{TOL+}) + \frac{d + d_{TOL+}}{2} \right]$$

Ecuación 26

$$E_{MIN} = [G + G_{TOL+}] - [(T_{L.T.} + T_{TOL-} - GAP) + A_{TUERCA} + A_{TOL-}]$$

Ecuación 27

Para la obtención de la posición del agujero de frenado se tendrán que manejar dos casos a partir de los cuales se obtendrá un rango de distancias a partir de las cuales se puede situar el agujero de frenado en cualquier punto del mismo:

Distancia máxima (E_{MAX})

Caso en el que los elementos de construcción van al máximo y la rosca va al mínimo. Esto va a ocurrir cuando el casquillo plano está a la altura del fin de la caña del bulón y el espesor de la arandela insertada en el lado de la tuerca se encuentra dentro de la parte roscada. Por tanto se le resta a G la arandela, la longitud de la tuerca (solo hasta la zona almenada) y el radio del agujero de frenado con sus tolerancias positivas.

En este caso se tendrá que averiguar a qué distancia se puede situar el agujero de frenado para que se encuentre dentro de la zona almenada y no salga fuera de ella hacia el lado interior, imposibilitando la inserción del pasador al bloquear la entrada la zona no almenada de la tuerca.

Se redondeará a la baja para obtener la configuración más desfavorable.

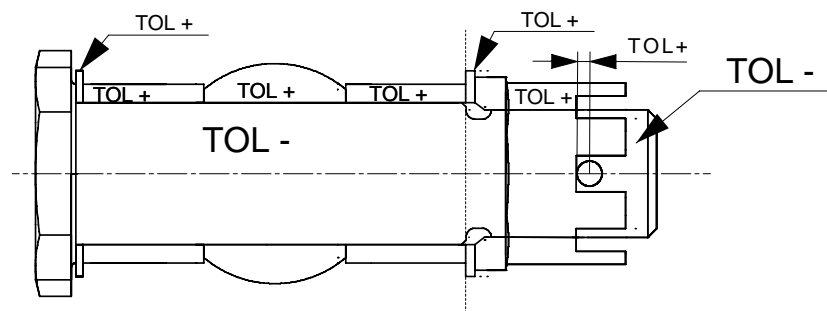


Figura 62 Distancia máxima agujero de frenado

Distancia mínima (E_{MIN})

Caso en el que los elementos de construcción van al mínimo y la rosca va al máximo. Esto va a ocurrir cuando sobresale el mínimo espesor de la arandela fuera del GAP definido anteriormente. Por tanto, para el cálculo de esta distancia mínima a la zona roscada se le tendrá que restar a la longitud de la zona roscada el valor del espesor de la arandela que sobresale fuera del gap (sería el valor mínimo que podría sobresalir la arandela) y la longitud de la tuerca.

En este caso el agujero puede sobresalir hasta la mitad respecto a la zona almenada.

Se redondeará al alza para obtener la configuración más desfavorable.

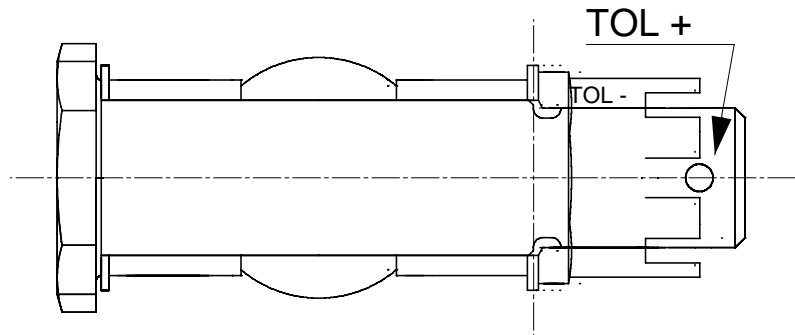


Figura 63 Distancia mínima agujero de frenado

Caso en el que $E_{MAX} \geq E_{MIN}$

En este caso quedaría completamente definido el bulón y no habría que hacer más cálculos que los ya hechos anteriormente.

Caso en el que $E_{MAX} < E_{MIN}$

En este caso, lo que ocurrirá es que se obtendrá un intervalo de tolerancias en el cual el posicionamiento del agujero de frenado que se encuentre dentro de las tolerancias máximas no se solapará EN NINGÚN CASO con el rango que tiene en las tolerancias mínimas de los elementos de construcción, no pudiendo por tanto situar en ningún “punto seguro” el agujero de frenado.

En este caso lo que se hará será añadir arandelas además de las que ya se hayan añadido dependiendo de las necesidades de fabricación.

Este proceso se realizará en el caso de que el agujero de frenado quede fuera de la zona almenada, perdiendo esta todo su efecto; por lo tanto, solamente se añadirán en el caso en el que se requieran, despreciándose su uso en el caso de que el agujero de frenado quede situado dentro de la zona almenada.

Por cálculo, el intervalo de desplazamiento según tolerancias de la tuerca almenada es mucho menor que el intervalo que admiten las almenas para la inserción del pasador, por lo tanto este caso no ocurrirá nunca.

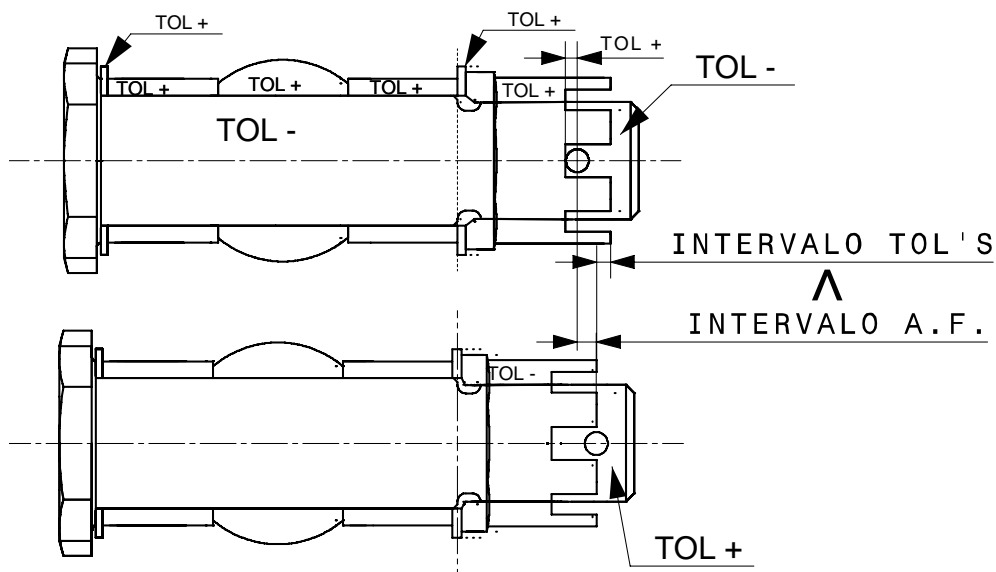


Figura 64 Intervalos para A.F.

Finalmente, se observa el valor final del posicionado del agujero de frenado. Este será la media del máximo y el mínimo para situarlo siempre en el punto medio de la almena.

		MAX	MIN
AGUJERO DE FRENADO (E)	INTERVALO	5,1	4,3
	Tol +	0,25	0,25
	Tol -	-0,25	-0,25
	POSICIÓN FINAL A.F.	4,7	

Tabla 50 Posicionamiento agujero de frenado

El bulón tendrá que ser fabricado ya que no hay ninguna bulón normalizado con dichas tolerancias. Se recuerda que estas tolerancias propias del bulón son debidas al juego equivalente al H7/g6 con la rótula.

NORMA BULON
FABRICADO

Tabla 51 Norma bulón

5.3.5. Tuerca almenada

La norma se corresponde con NSA5060

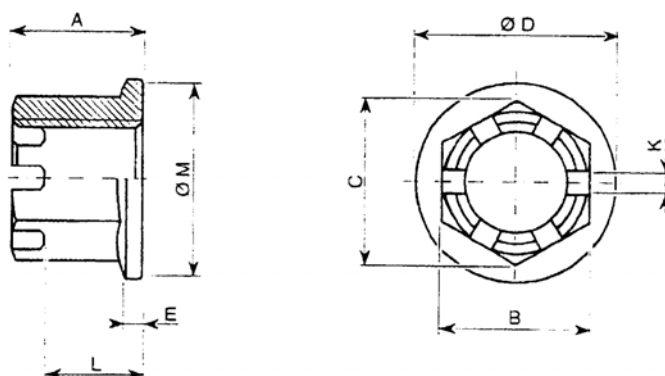


Figura 65 Dimensiones tuerca almenada

TUERCA ALMENADA										
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	ROSCA	A	B max	C ref	D max	E ref	K	L	M min
	3	0,19	6,35	6,401	7,036	8,255	0,635	2,032	2,769	7,798
	4	0,25	7,137	8,026	8,814	10,668	0,635	2,54	3,175	9,804
	5	0,3125	8,331	9,601	10,642	13,208	1,397	2,54	4,369	12,243
	6	0,375	10,312	11,176	12,471	14,708	1,778	3,937	5,562	14,198
	7	0,4375	11,506	12,801	14,275	16,383	1,778	3,937	6,756	15,24
	8	0,5	14,3	14,376	16,078	19,558	1,778	3,937	9,118	18,415
	9	0,5625	15,468	17,576	19,685	21,59	2,032	4,724	9,931	20,7
	10	0,625	18,262	19,177	21,488		2,286	4,724	11,912	22,225
	12	0,75	20,65	22,352	25,069	28,702	2,54	4,724	14,3	27,813
	14	0,875	23,012	25,927	28,707	34,163	3,048	4,724	16,662	33,02
	16	1	25,4	28,707	32,308	39,243	3,048	4,724	19,05	38,1
	18	1,125	29,36	31,88	35,916	44,323	3,556	4,724	20,65	43,18
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIMENSIONES TUERCA ALMENADA										
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	ROSCA	A	B max	C ref	D max	E ref	K	L	M min
	5	0,3125	8,331	9,601	10,642	13,208	1,397	2,54	4,369	12,243
Tol +	-	-	0,38	-	-	-	-	-	0,4	-
Tol -	-	-	-0,38	-	-	-	-	-	-0,4	-

Tabla 52 Dimensiones tuerca almenada

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones de la tuerca almenada, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

Para la obtención final del código de designación que definirá la tuerca almenada, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL Y PROTECCIÓN
CRES pasivado

Tabla 53 Selección material y protección tuerca almenada
que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL Y PROTECCIÓN		
Acero cadmiado		
CRES plateado	C	E
CRES pasivado	E	

Tabla 54 Materiales y protecciones tuerca almenada

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA TUERCA ALMENADA
NSA5060E5

Tabla 55 Norma tuerca almenada

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	NSA5060	E	5
Número de pieza			
Material y protección			
Código de diámetro			

Tabla 56 Códigos de designación tuerca almenada

5.3.6. Arandelas

La norma se corresponde con NAS1149

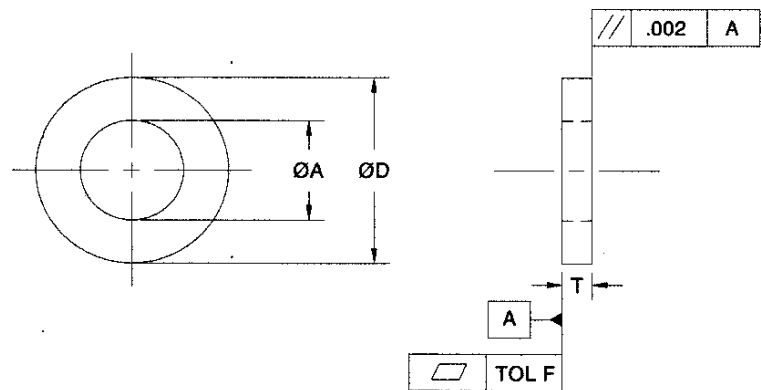


Figura 66 Dimensiones arandela

ARANDELA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	DIÁMETRO NOMINAL	A	D
	3	4,820	5,156	11,125
	4	6,350	6,731	12,700
	5	7,925	8,331	14,275
	6	9,525	9,906	15,875
	7	11,100	11,506	19,050
	8	12,700	13,081	22,225
	9	14,275	14,681	26,975
	10	15,875	16,256	30,175
	12	19,050	19,431	33,325
	14	22,225	22,606	38,100
	16	25,400	25,781	44,450
	18	28,575	27,381	46,025
	20	31,750	31,750	50,800
	22	-	-	-
	24	38,100	38,481	57,150
	28	-	-	-
DIMENSIONES ARANDELA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	DIÁMETRO NOMINAL	A	D
	5	7,925	8,331	14,275
Tol +	-	-	0,254	0,508
Tol -	-	-	-0,254	0

Tabla 57 Dimensiones arandela

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones de la arandela, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

En toda unión de un solo pasador se han de incluir dos arandelas como mínimo, una en el lado de la cabeza del bulón y otra en el lado de la tuerca.

Como su función en un primer momento es la de proteger a los elementos constructivos que están en contacto directo con el par de apriete se definirá por defecto un espesor pequeño ya que su función es únicamente la de proteger.

Aquí se muestran los valores de los espesores de las dos arandelas a introducir en la unión. Para escoger el espesor de la arandela se escoge el valor inmediatamente superior al gap que nos quedaba entre el casquillo plano y el comienzo de la rosca.

ARANDELA L.C. BULÓN	0,813
Tol +	0,1
Tol -	-0,1
ARANDELA L. TUERCA	0,813
Tol +	0,1
Tol -	-0,1

Tabla 58 Espesores arandelas

Por último, para la obtención final de los códigos de designación que definirán las arandelas, se tendrán que definir los siguientes datos que serán comunes para todas las arandelas:

MATERIAL	PROTECCIÓN
CRES (301)	Pasivado

Tabla 59 Selección material y protección arandelas

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL	
Aleación de acero (4130)	G
Aleación de aluminio (2024-T3)	D
Aleación de aluminio (2024-T81)	A
Latón (Aleación de cobre NO. 260)	B
Acero al carbono (1020 OR 1025)	F
CRES (301)	C
CRES (A286)	E
Titanio puro	T
Titanio (6AL-4V Aleación)	V

PROTECCIÓN	
Black oxide	B
Sin protección	H
Tratamiento químico	J
Anodinado	K
Anodizado azul	L
Anodizado azul-violeta	M
Or dyed	N
Cadmiado	P
Pasivado	R

Tabla 60 Materiales y protecciones arandelas

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en sus códigos de designación:

NORMA ARANDELA L.C.B.	NORMA ARANDELA L.T.
NAS1149C532R	NAS1149C532R

Tabla 61 Norma arandelas

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

NAS1149	C	5	49	R
Número de pieza				
Tolerancia de ajuste				
Código de diámetro				
Espesor (pulgadas·10 ³)				
Protección				

Tabla 62 Códigos de designación arandelas

5.3.7. Pasador

La norma se corresponde con MS24665

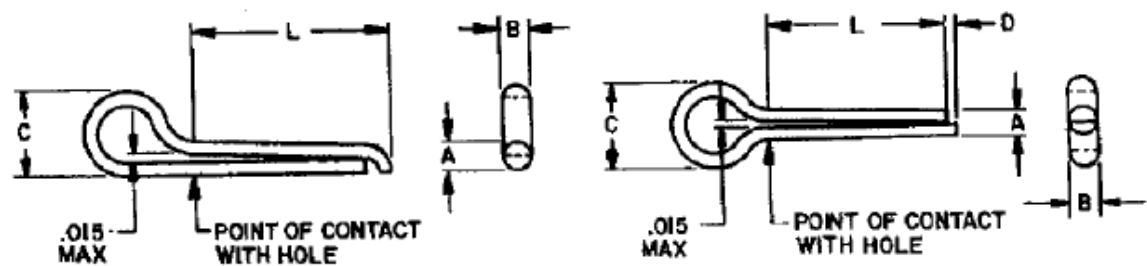


Figura 67 Dimensiones pasador

PASADOR (CRES)										TAMAÑO Y CÓDIGO			
TAMAÑO AGUJERO RECOMENDADO	CÓDIGO	TAMAÑO	A max	A min	B max	B min	C	D		LONG	1,59	2,38	3,18
1,98	155	1,59	1,52	1,42	1,52	1,12	3,05	0,76		12,7	170	315	383
2,77	302	2,38	2,29	2,18	2,29	1,75	4,83	1,02		19,05	172	317	385
3,58	374	3,18	3,05	2,92	3,05	2,36	6,35	1,52		25,4	174	319	387
										31,75	176	321	389
										38,1	178	323	391
										44,45	180	325	393
										50,8	181	326	394
										57,15		327	395
										63,5	182	328	396
										69,85			
										76,2	183	329	397

LONGITUD ESTIMADA PASADOR17,55

DIMENSIONES PASADOR										LONG	CÓDIGO
TAMAÑO AGUJERO RECOMENDADO	CÓDIGO	TAMAÑO	A max	A min	B max	B min	C	D			
1,98	155	1,59	1,52	1,42	1,52	1,12	3,05	0,76		12,7	172
Tol +	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-
Tol -	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-

Tabla 63 Dimensiones pasador

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del pasador, obteniendo uno u otro en función del diámetro “d” del agujero de frenado del bulón.

- Relación entre “d” del bulón y tamaño de agujero recomendado:

Se puede observar que los diámetros del agujero definidos en el bulón “d” y los definidos en esta norma (Tamaño de agujero recomendado) son diferentes, por lo que se aproximará el tamaño del agujero definido en el bulón a su valor correspondiente más cercano, siempre eligiendo el inmediatamente superior y teniendo en cuenta que el tamaño del pasador sea menor que “d”.

La relación entre los agujeros de frenado “d” y los tamaños recomendados del agujero de frenado es:

TAMAÑO DE AGUJERO RECOMENDADO		
1,78	1,98	1,98
1,93	1,98	
2,69	2,77	
3,58	3,58	

Tabla 64 Tamaño de agujero recomendado

En este caso al tener un diámetro $d = 1,93$, el tamaño de agujero recomendado será de 1,98.

- Obtención de la longitud del pasador:

Podemos observar que el tamaño de la cabeza del pasador ($C=3,05$) es mayor que la distancia entre almenas ($K=2,54$), por lo tanto la cabeza del pasador apoyará contra la tuerca almenada y no contra el propio agujero de frenado. Por lo tanto, para elegir una longitud adecuada en la norma, se define L:

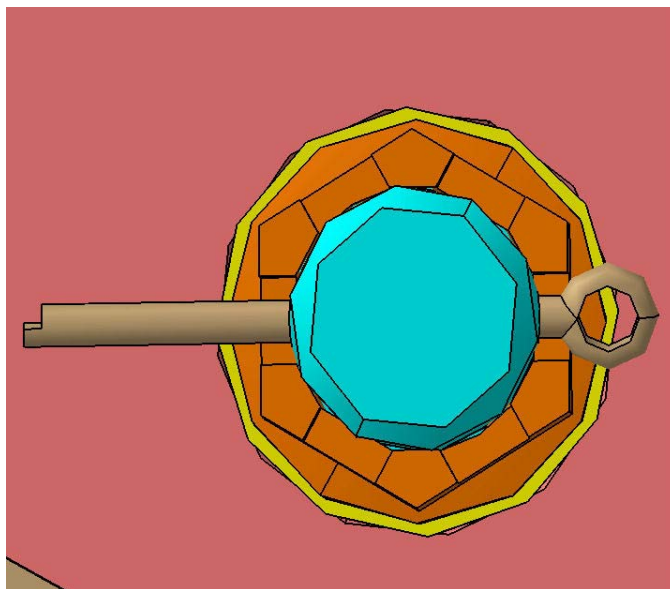


Figura 68 Vista 3D pasador

Una vez colocado el pasador en el agujero de frenado se procederá al doblado del mismo.

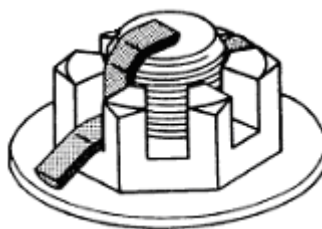


Figura 69 Inserción correcta pasador

La longitud del pasador vendrá definida por:

$$L_{PASADOR} = B_{\max Tuerca} + A_{Tuerca} + A_{TOL-}$$

Ecuación 28

A partir de esta fórmula se obtendrá la longitud del pasador estimada que el programa adecuará a la norma, siempre eligiendo el valor inferior más cercano:

LONGITUD ESTIMADA PASADOR	17,55
------------------------------	-------

Tabla 65 Longitud estimada pasador

Para la obtención de esta longitud obsérvese que los valores obtenidos corresponden a los mínimos redondeando siempre a la baja. Esto es debido a que la longitud de la aleta inferior del pasador, deberá ser tal que no sobresalga de la base de la tuerca o arandela con el fin de evitar arañazos y prevenir la corrosión galvánica producida por su contacto con el metal base donde va instalado el tornillo o bulón. (Ver I+D-P-376)

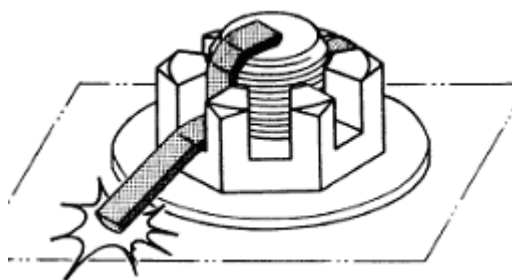


Figura 70 Longitud incorrecta pasador

En este caso mirando la tabla de la norma se obtiene la longitud inmediatamente inferior y su código que será el que definirá el pasador:

LONGITUD PASADOR	12,7
------------------	------

Tabla 66 Longitud pasador

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA PASADOR
MS24665-127

Tabla 67 Norma pasador

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	MS24665	127
Número de pieza		
Código de diámetro		

Tabla 68 Código de designación pasador

5.4. Uniones pinzadas en una orejeta

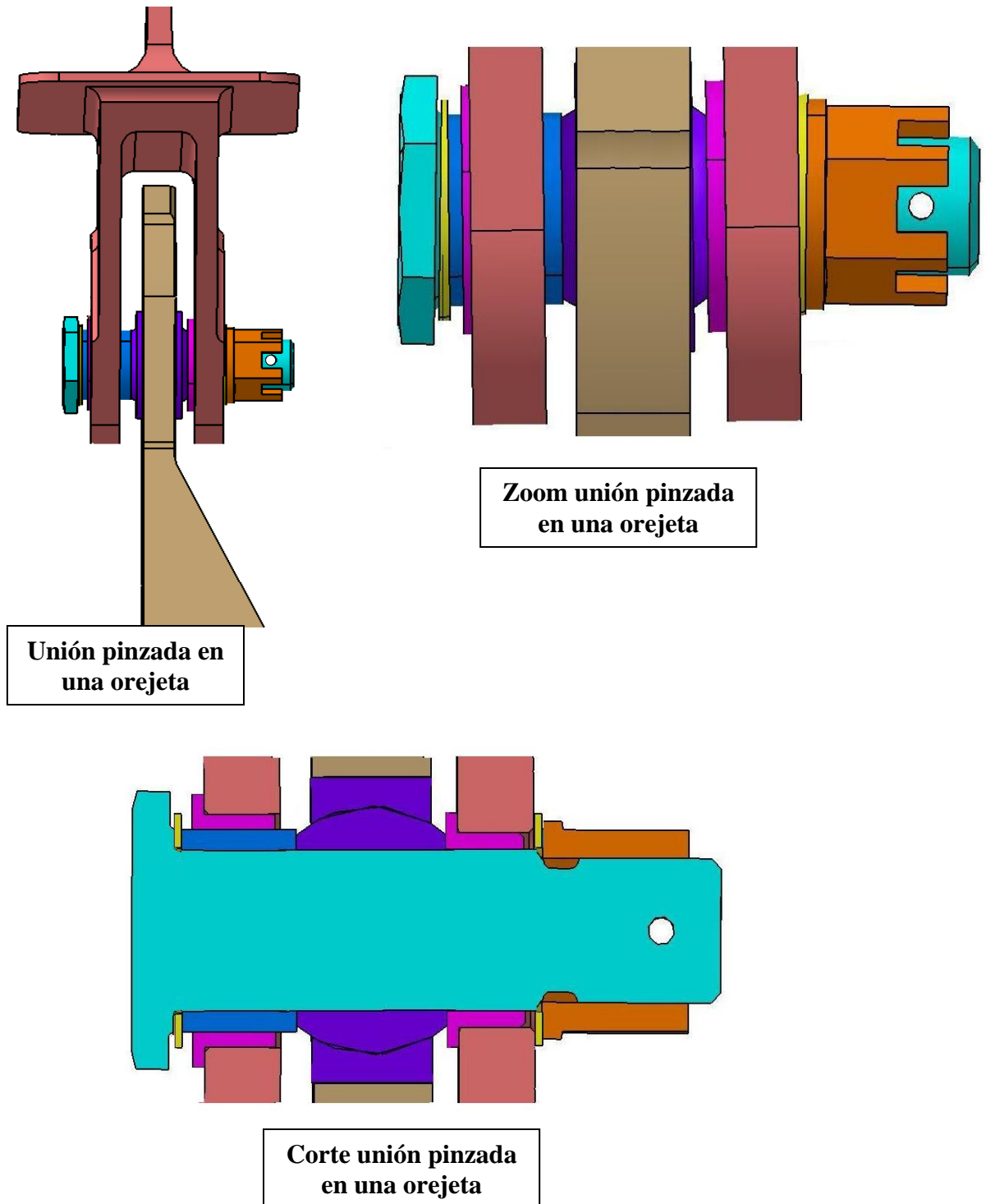


Figura 71 Vistas 3D unión pinzada en una orejeta

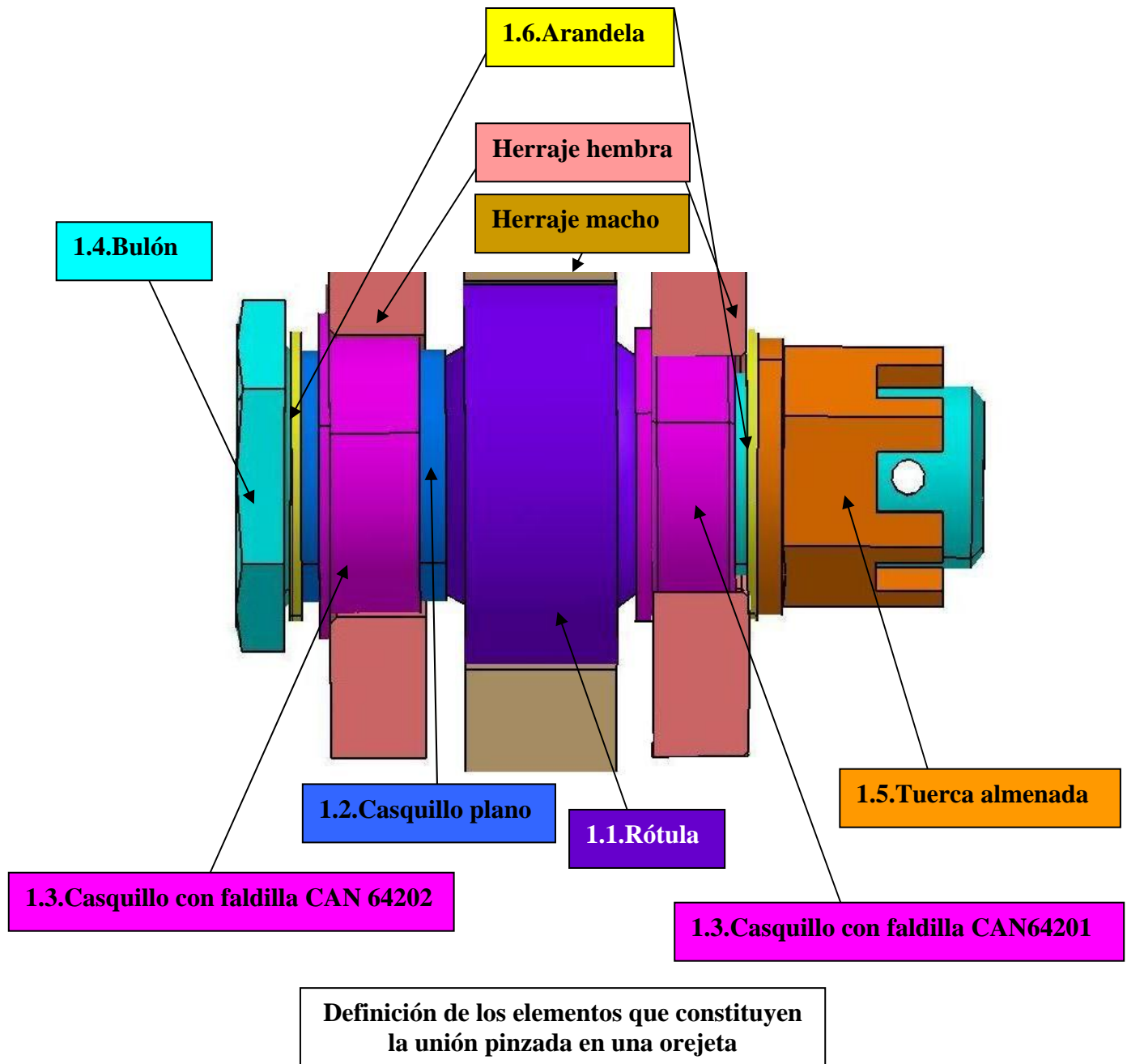


Figura 72 Partes de la unión pinzada en una orejeta

La vista general del programa es esta que se mostrará a continuación, donde posteriormente iremos haciendo hincapié en cada uno de los puntos que lo conforman:

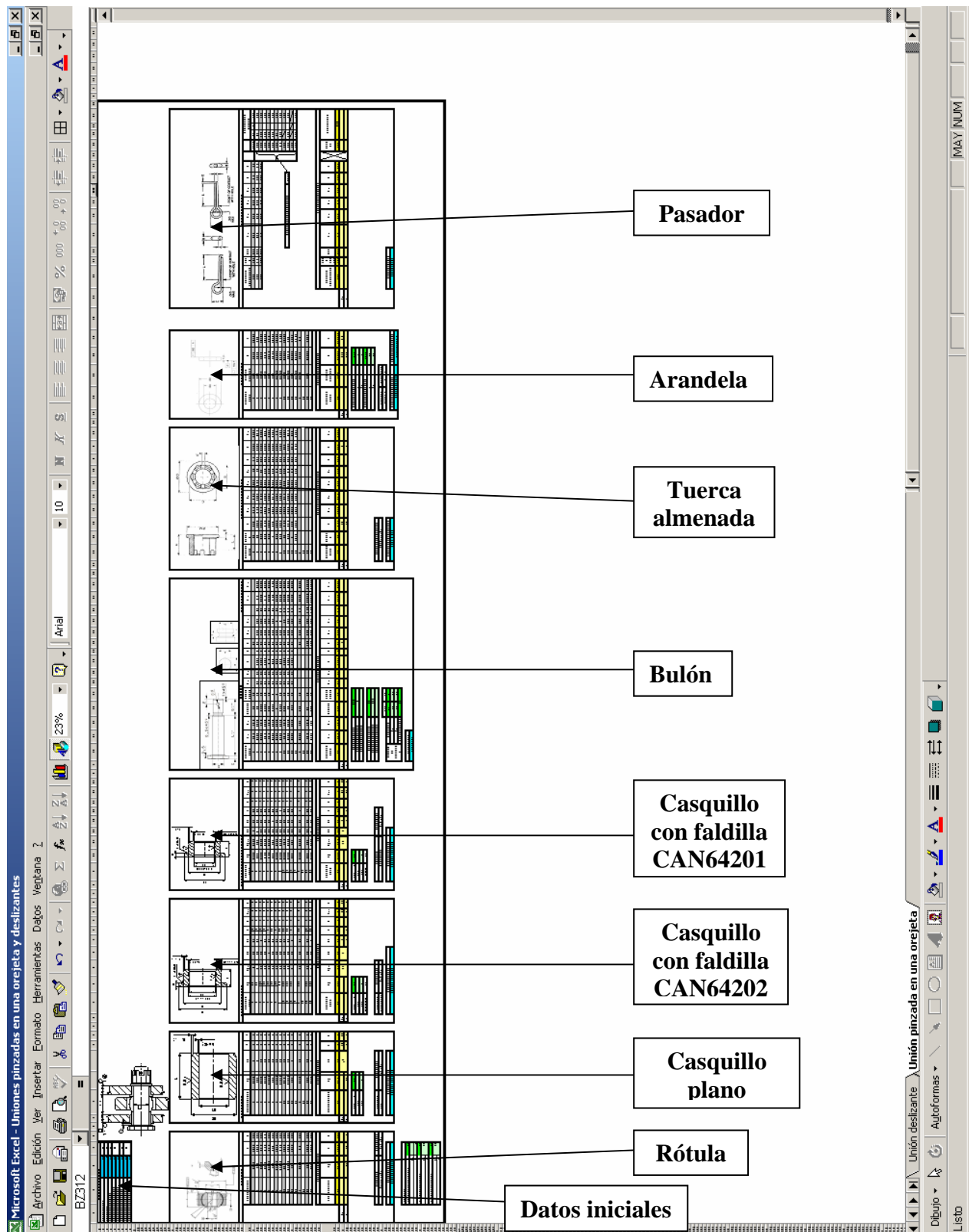


Figura 73 Vista general programa para uniones pinzadas en una orejeta

La obtención del dimensionado de todos aquellos elementos que componen la unión deslizante dependerá de 5 parámetros a partir de los cuales el programa creado calculará el resto de parámetros necesarios para dimensionar la unión.

Los parámetros a introducir serán:

- Código rótula → 1
- Gap del eje → 2
- Espesor de la orejeta izquierda → 3
- Tolerancia espesor orejeta izquierda → 4
- Espesor de la orejeta derecha → 5
- Tolerancia espesor orejeta derecha → 6

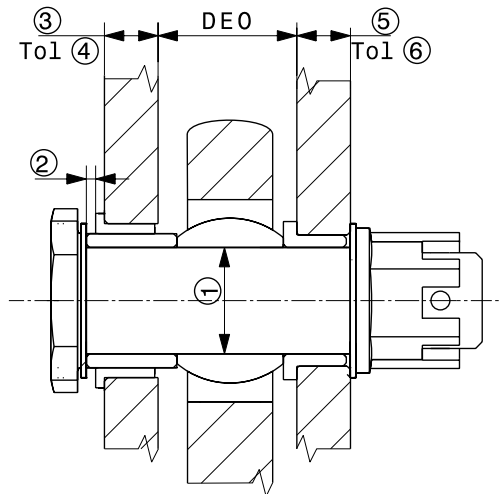


Figura 74 Datos iniciales para dimensionado unión pinzada en una orejeta

En este tipo de unión se eliminará el gap de ajuste (5) suplementario al gap del eje debido a que si se quiere dejar la rótula centrada con respecto a las orejetas hembra se le tendrá que dar un gap igual al espesor del ancho de la faldilla del casquillo que va pinzado. En este caso nunca tocará el herraje hembra la rótula ya que el ancho de la faldilla del casquillo que va pinzado y que centrará la rótula siempre será mayor que el gap del eje.

Además, en el caso de las uniones pinzadas en una orejeta, no se tiene por que dar el caso en el que el ancho de las dos orejetas hembra sea igual, luego se incluirán en los datos iniciales los dos espesores y sus tolerancias a tener en cuenta.

Se introducirán unos valores por defecto para mostrar un ejemplo de un tipo de configuración en este tipo de unión:

DATOS INICIALES		
CÓDIGO RÓTULA	12	1
GAP DEL EJE	0,5	2
ESPESOR OREJETA IZQ	25	3
ESPESOR OREJETA IZQ TOL +	0,15	4
ESPESOR OREJETA IZQ TOL -	-0,15	
ESPESOR OREJETA DCHA	25	5
ESPESOR OREJETA DCHA TOL +	0,15	6
ESPESOR OREJETA DCHA TOL -	-0,15	

Tabla 69 Datos iniciales para dimensionado unión pinzada en una orejeta

5.4.1. Rótula

La norma se corresponde con EN4538-3

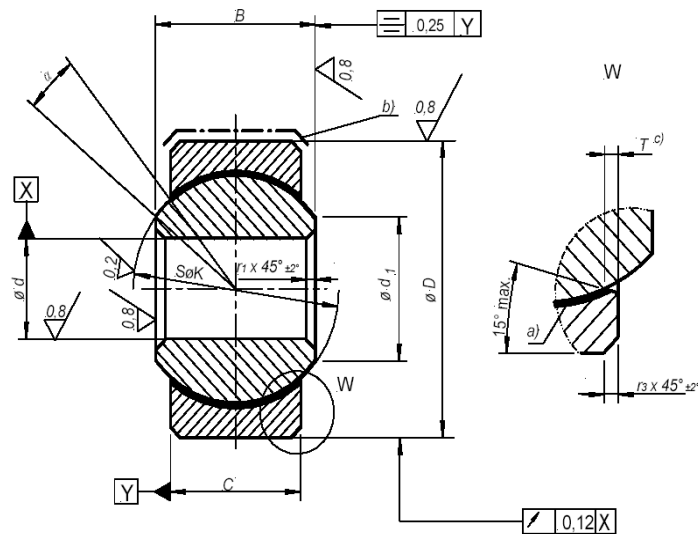


Figura 75 Dimensiones de la rótula

ROTULA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	d	D	B
	3	4,826	14,287	7,14
	4	6,35	16,667	8,71
	5	7,937	19,05	9,53
	6	9,525	20,637	10,31
	7	11,113	23,017	11,1
	8	12,7	25,4	12,7
	9	14,288	27,78	14,28
	10	15,875	30,163	15,88
	12	19,05	36,513	19,05
	14	22,225	39,687	22,23
	16	25,4	44,45	25,4
	18	-	-	-
	20	31,75	50,8	27,76
	22	-	-	-
	24	38,1	61,912	33,32
	28	44,45	71,437	38,89
DIMENSIONES RÓTULA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	d	D	B
	12	19,05	36,513	19,05
Tol +	-	0	0	0
Tol -	-	-0,013	-0,013	-0,06

Tabla 70 Dimensiones de la rótula

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones de la rótula, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro.

- A partir de la rótula se pueden obtener otros datos importantes como son la distancia entre las orejetas hembra y los diámetros de los agujeros de las orejetas hembra:

DISTANCIA	
ENTRE OREJETAS HEMBRA	25
Tol +	0
Tol -	-0,2
Dint OREJETA IZQUIERDA	29
Tol +	H7
Tol -	
Dint OREJETA DERECHA	24
Tol +	H7
Tol -	

Tabla 71 Distancia entre orejetas hembra y Dint orejetas

De donde DEO es la distancia entre orejetas hembra y D_{int} orejeta izquierda y orejeta derecha corresponden a los diámetros de los alojamientos de las orejetas hembra, que se obtienen de:

$$DEO = B_{ROTULA} + B_{TOL+} + 2 \cdot (K_{CFT1} + K_{TOL+})$$

Ecuación 29

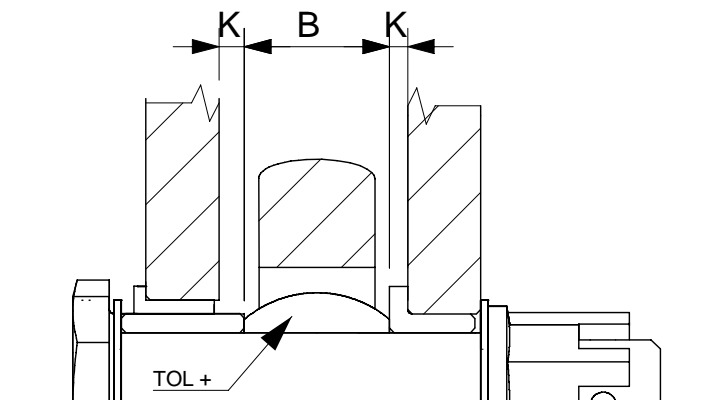


Figura 76 Distancia entre orejetas

$$D_{INTOREJETAIZQ} = C_{CFT2}$$

Ecuación 30

$$D_{INTOREJETADCHA} = C_{CFT1}$$

Ecuación 31

Para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

LAMINACIÓN	PROTECCIÓN
Rótula laminada	Cadmiado

Tabla 72 Selección laminación y protección rótula

que se obtendrán de esta otra tabla:

LAMINACIÓN		
Alojamiento laminado	S	R
Rótula laminada	R	
PROTECCIÓN		
Cromado		Z
Cadmiado	Z	

Tabla 73 Laminación y protecciones rótula

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA RÓTULA
EN4538-3R12BZ

Tabla 74 Norma rótula

Donde cada uno de los datos pertenecientes al mismo corresponde a:

	EN4538-3	R	12	B	Z
Número de pieza					
Código de laminación					
Código de diámetro					
Tecnología					
Protección					

Tabla 75 Códigos de la norma de la rótula

5.4.2. Casquillo plano

La norma se corresponde con CAN64203

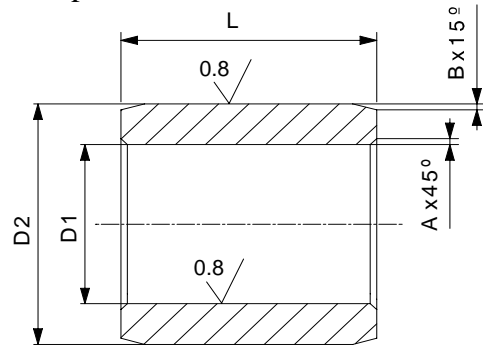


Figura 77 Dimensiones casquillo plano

CASQUILLO PLANO					
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D2	A	B
	3	4,826	9	0,3	0,3
	4	6,35	10	0,3	0,3
	5	7,937	12	0,3	0,3
	6	9,525	14	0,3	0,3
	7	11,113	16	0,5	0,5
	8	12,7	18	0,5	0,5
	9	14,288	19	0,5	0,5
	10	15,875	21	0,5	0,5
	12	19,05	24	0,5	0,5
	14	22,225	27	0,5	0,5
	16	25,4	30	0,5	0,5
	18	-	-	-	-
	20	31,75	37	0,5	0,5
	22	-	-	-	-
	24	38,1	44	0,5	0,5
	28	44,45	50	0,5	0,5
DIMENSIONES CPT3					
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D2	A	B
	12	19,05	24	0,5	0,5
Tol +	-	0	g6	+0,13	+0,13
Tol -	-	-0,013		-0,13	-0,13

Tabla 76 Dimensiones casquillo plano

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del casquillo plano, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

- La longitud del casquillo plano en función de los datos iniciales insertados es:

CP Long (L)	34
CP Tol +	0
CP Tol -	-0,1

Tabla 77 Longitud casquillo plano

De donde L corresponde a la longitud del casquillo plano, que se obtiene de:

$$L = DEO + DEO_{TOL+} + K_{CFT2} + K_{TOL+} + <3> + <4> + <2> - (B_{ROTULA} + B_{TOL-}) - (K_{CFT1} + K_{TOL-})$$

Ecuación 32

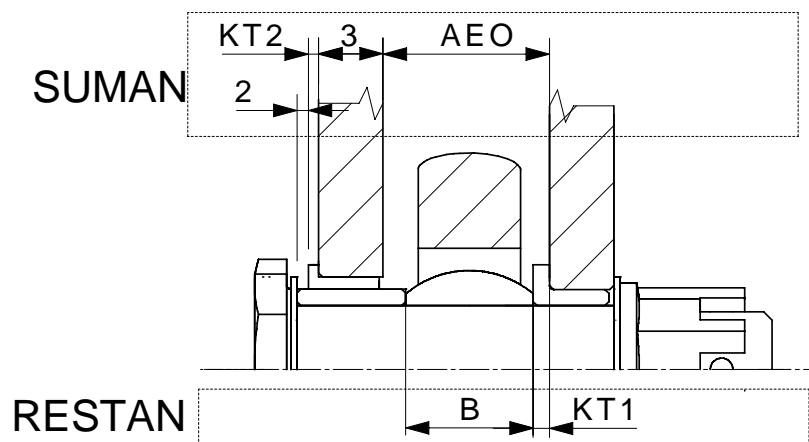


Figura 78 Longitud casquillo plano

El valor de la longitud del casquillo se obtendrá procurando obtener la longitud máxima teniendo en cuenta tolerancias. Esto es debido a que en todos los casos el casquillo plano ha de estar pinzado cuando se le dé un par de apriete en la unión, para ello no puede tener nunca holgura axial.

Por último, para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL	PROTECCIÓN
Al-Ni-Bronce	Cadmiado

Tabla 78 Selección material y protección casquillo plano

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL		
CRES 17-4PH	1	4
CRES 15-5PH	2	
Al-Bronce	3	
Al-Ni-Bronce	4	
Be-Cu	5	

PROTECCIÓN SUPERFICIAL		
Sin protección	A	C
Pasivado	B	
Cadmiado	C	
Cromado	D	
Pasivado+Cadmiado	E	

Tabla 79 Materiales y protecciones casquillo plano

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA CASQUILLO
CAN64203-4C5340

Tabla 80 Norma casquillo plano

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	CAN64203	4	C	5	340
Número de pieza					
Material					
Protección					
Código de diámetro					
Longitud					

Tabla 81 Códigos de la norma del casquillo plano

5.4.3. Casquillo con faldilla CAN64202

La norma se corresponde con CAN64202

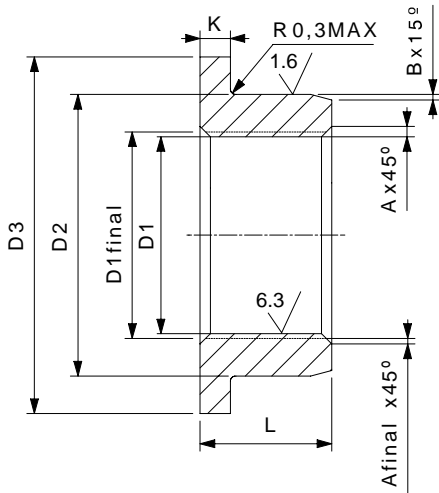


Figura 79 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202

CASQUILLO CON FALDILLA									
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D1 final	D2	D3	K	A	A final	B
	3	8,5	9	13	17	1,6	0,55	0,3	0,3
	4	9,5	10	14	18	1,6	0,55	0,3	0,3
	5	11,5	12	16	20	1,6	0,55	0,3	0,3
	6	13,5	14	18	22	1,6	0,55	0,3	0,3
	7	15,5	16	20	25	2	0,55	0,3	0,3
	8	17,5	18	22	27	2,5	0,55	0,3	0,3
	9	18,5	19	23	28	3	0,55	0,3	0,3
	10	20,5	21	26	31	3,8	0,75	0,5	0,5
	12	23,5	24	29	34	4,8	0,75	0,5	0,5
	14	26,5	27	32	37	5,8	0,75	0,5	0,5
	16	29,5	30	35	40	7	0,75	0,5	0,5
	18	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	36,5	37	42	47	9,3	0,75	0,5	0,5
	22	-	-	-	-	-	-	-	-
	24	43,5	44	49	54	11,5	0,75	0,5	0,5
	28	49,5	50	55	60	13,8	0,75	0,5	0,5
DIMENSIONES CFT2									
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	D1	D1 final	D2	D3	K	A	A final	B
	12	23,5	24	29	34	4,8	0,75	0,5	0,5
Tol +	-	-	H7	s6	+0,1	0	-	+0,13	+0,13
Tol -	-	-			-0,1	-0,1	-	-0,13	-0,13

Tabla 82 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64202

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del casquillo con faldilla, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

Asimismo, se puede observar que el diámetro interno del casquillo con faldilla es inferior al diámetro externo del casquillo plano donde debe apoyar. Esto es debido a que al instalarse el casquillo zunchado con interferencia se dejarán unas creces de 0,5 mm para posteriormente escariarlo.

- La longitud del casquillo zunchado en función de los datos iniciales insertados es:

CF Long (L)	29
CF Tol +	0
CF Tol -	-0,1
GAP MIN	0,25

Tabla 83 Longitud casquillo con faldilla CAN64202

De donde L corresponde a la longitud del casquillo zunchado, que se obtiene de:

$$L = < 3 > + < 4 >^{-} + K_{CFT2} + K_{TOL-} - GAPMIN)$$

Ecuación 33

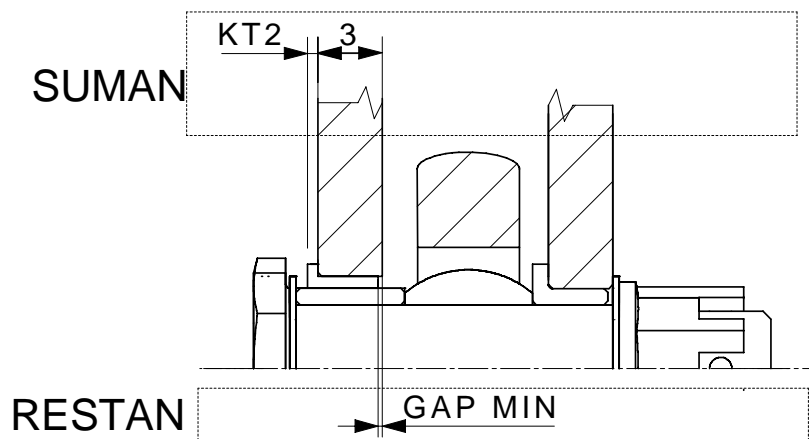


Figura 80 Longitud casquillo con faldilla CAN64202

El resultado se redondea a la baja para evitar que el casquillo con faldilla pudiera sobrepasar el espesor de la orejeta hembra donde se inserta.

Por último, para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL	PROTECCIÓN
CRES 15-5PH	Cadmiado

Tabla 84 Selección material y protección casquillo con faldilla CAN64202

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL		
CRES 17-4PH	1	2
CRES 15-5PH	2	
Al-Bronce	3	
Al-Ni-Bronce	4	
Be-Cu	5	

PROTECCIÓN SUPERFICIAL		
Sin protección	A	C
Pasivado	B	
Cadmiado	C	
Cromado	D	
Pasivado+Cadmiado	E	

Tabla 85 Materiales y protecciones casquillo con faldilla CAN64202

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA CASQUILLO
CAN64202-2C12290

Tabla 86 Norma casquillo con faldilla CAN64202

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	CAN64202	2	C	12	290
Número de pieza					
Material					
Protección					
Código de diámetro					
Longitud					

Tabla 87 Códigos de la norma del Casquillo con faldilla CAN64202

5.4.4. Casquillo con faldilla CAN64201

La norma se corresponde con CAN64201

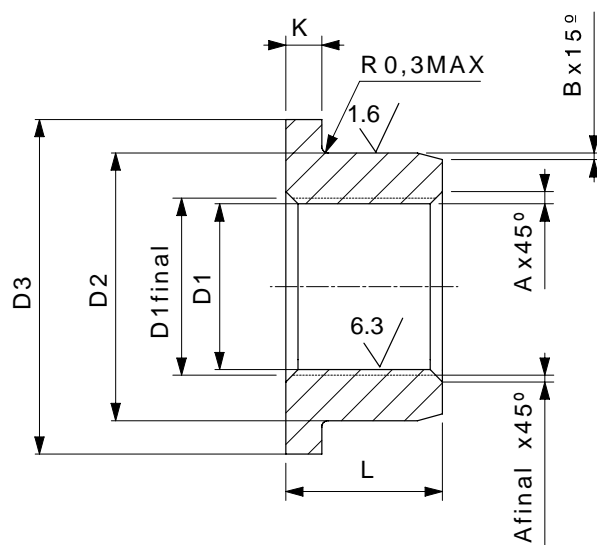


Figura 81 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64201

CASQUILLO CON FALDILLA									
DIAMETER CODE	D1	D1 final	D2	D3	K	A	A final	B	
3	4,326	4,826	9	12	1,6	0,5	0,3	0,3	
4	5,85	6,35	10	13	1,6	0,55	0,3	0,3	
5	7,437	7,937	12	15	1,6	0,55	0,3	0,3	
6	9,025	9,525	14	17	1,6	0,55	0,3	0,3	
7	10,613	11,113	15	18	1,6	0,55	0,3	0,3	
8	12,2	12,7	17	20	1,6	0,55	0,3	0,3	
9	13,788	14,288	18	21	1,6	0,55	0,3	0,3	
10	15,375	15,875	21	24	2	0,75	0,5	0,5	
12	18,55	19,05	24	28	2,8	0,75	0,5	0,5	
14	21,725	22,225	27	31	3,6	0,75	0,5	0,5	
16	24,9	25,4	31	36	4,4	0,75	0,5	0,5	
18	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	31,25	31,75	37	42	6	0,75	0,5	0,5	
22	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	37,6	38,1	43	48	7,5	0,75	0,5	0,5	
28	43,95	44,45	50	55	9,1	0,75	0,5	0,5	
DIMENSIONES CFT1									
DIAMETER CODE	D1	D1 final	D2	D3	K	A	A final	B	
12	18,55	19,05	24	28	2,8	0,75	0,5	0,5	
Tol +	-	-	H7	s6	+0,1	0	-	+0,13	+0,13
Tol -	-	-			-0,1	-0,1	-	-0,13	-0,13

Tabla 88 Dimensiones casquillo con faldilla CAN64201

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del casquillo con faldilla, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

Asimismo, se puede observar que el diámetro interno del casquillo con faldilla es inferior al diámetro externo del bulón donde debe apoyar. Esto es debido a que al instalarse el casquillo zunchado con interferencia se dejarán unas creces de 0,5 mm para posteriormente escariarlo.

- La longitud del casquillo zunchado en función de los datos iniciales insertados es:

CF Long (L)	27
CF Tol +	0
CF Tol -	-0,1
GAP MIN	0,25

Tabla 89 Longitud casquillo con faldilla CAN64201

De donde L corresponde a la longitud del casquillo zunchado, que se obtiene de:

$$L = < 5 > + < 6 >^- + K_{CFT1} + K_{TOL-} - GAPMIN$$

Ecuación 34

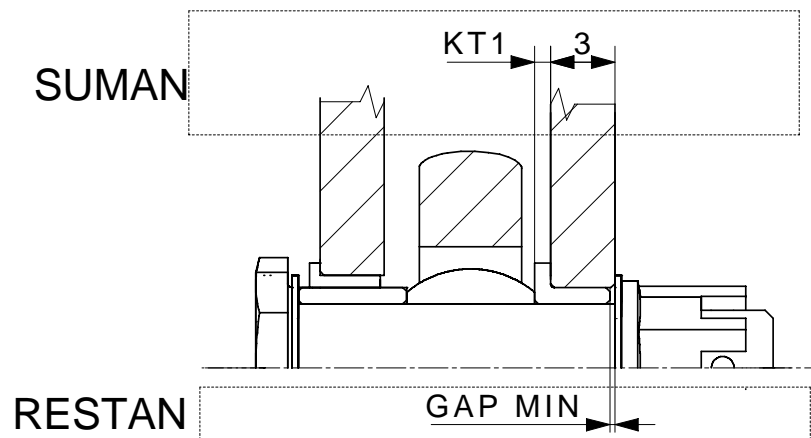


Figura 82 Longitud casquillo con faldilla CAN64201

El resultado se redondea a la baja para evitar que el casquillo con faldilla pudiera sobrepasar el espesor de la orejeta hembra donde se inserta.

Por último, para la obtención final del código de designación que definirá la rótula, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL	PROTECCIÓN
CRES 15-5PH	Cadmiado

Tabla 90 Selección material y protección casquillo con faldilla CAN64201

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL		
CRES 17-4PH	1	2
CRES 15-5PH	2	
Al-Bronce	3	
Al-Ni-Bronce	4	
Be-Cu	5	

PROTECCIÓN SUPERFICIAL		
Sin protección	A	C
Pasivado	B	
Cadmiado	C	
Cromado	D	
Pasivado+Cadmiado	E	

Tabla 91 Materiales y protecciones casquillo con faldilla CAN64201

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA CASQUILLO
CAN64201-2C12270

Tabla 92 Norma casquillo con faldilla CAN64201

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	CAN64201	2	C	12	270
Número de pieza					
Material					
Protección					
Código de diámetro					
Longitud					

Tabla 93 Códigos de la norma del casquillo con faldilla CAN64201

5.4.5. Bulón

Las dimensiones para la cabeza del bulón se corresponden con NSA5042 y las dimensiones para el final de la rosca se corresponden con NSA2000.

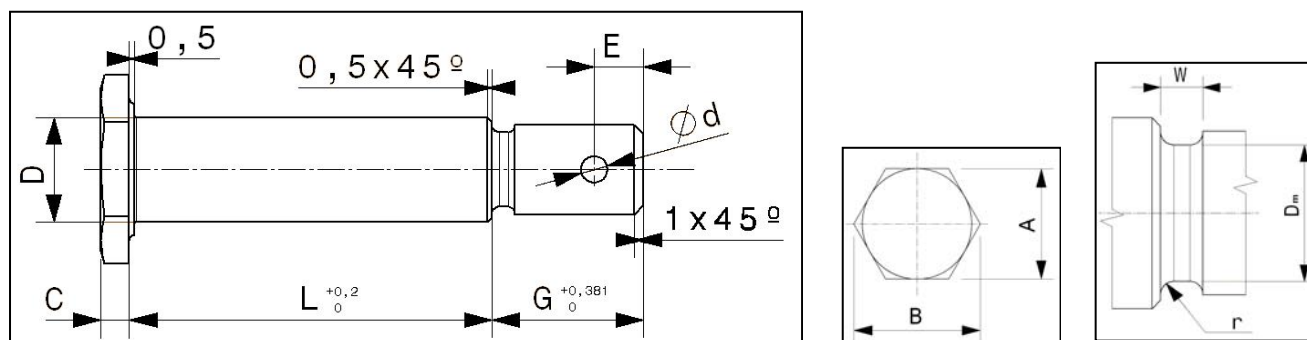


Figura 83 Dimensiones bulón

BULÓN													CRES CROMADO		
CÓDIGO DE DIÁMETRO	Dmax	Dmin	ROSCA	PASO ROSCA	Amax	Amin	B	C	d	Wmax	Wmin	r	Dm max	Dm min	
3	4,809	4,802	0,19	32	-	-	-	-	1,78	-	-	-	-	-	
4	6,332	6,321	0,25	28	11,15	10,92	12,95	2,5	1,93	2,337	1,829	0,762	5,08	4,978	
5	7,919	7,908	0,3125	28	12,75	12,5	14,73	2,5	1,93	2,692	2,184	0,762	6,477	6,375	
6	9,507	9,496	0.3125	24	14,33	14,05	16,51	3	1,93	2,692	2,184	0,762	8,001	7,848	
7	11,094	11,078	0.3750	24	17,53	17,25	20,07	3	2,69	3,175	2,667	0,762	9,271	9,118	
8	12,681	12,665	0.4375	20	19,1	18,82	22,1	3,5	2,69	3,175	2,667	0,762	10,922	10,769	
9	14,269	14,253	0.500	20	22,3	22	25,7	3,5	2,69	3,505	2,997	0,762	12,319	12,166	
10	15,856	15,84	0.5625	18	23,9	23,6	27,5	3,5	3,58	3,505	2,997	1,016	13,843	13,69	
12	19,03	19,009	0.6250	18	27,03	26,72	31,242	4	3,58	3,912	3,404	1,016	16,891	16,687	
14	22,205	22,184	0,75	16	31,8	31,8	36,576	5	3,58	4,42	3,912	1,016	19,685	19,481	
16	25,38	25,359	0,875	14	36,58	36,25	42,164	5	3,58	5,131	4,623	1,016	22,479	22,275	
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	31,728	31,7	1,25	12	-	-	-	-	3,58	5,131	4,623	1,016	28,829	28,625	
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	38,078	38,05	1,5	12	-	-	-	-	3,58	5,131	4,623	1,016	35,179	34,925	
28	44,428	44,4	1,75	12	-	-	-	-	3,58	5,131	4,623	1,016	41,529	41,275	

DIMENSIONES BULÓN														
CÓDIGO DE DIÁMETRO	Dmax	Dmin	ROSCA	PASO ROSCA	Amax	Amin	B	C	d	Wmax	Wmin	r	Dm max	Dm min
12	19,03	19,009	0.6250	18	27,03	26,72	31,242	4	3,58	3,912	3,404	1,016	16,891	16,687
Tol +	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,25	-	-	-	-	-
Tol -	-	-	-	-	-	-	-	-0,1	0	-	-	-	-	-

Tabla 94 Dimensiones bulón

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del bulón, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula

- La longitud de la caña en función de los datos iniciales insertados es:

LONGITUD CAÑA (L)	82,5
LONGITUD CAÑA TOL +	0,2
LONGITUD CAÑA TOL -	0

Tabla 95 Longitud caña bulón

De donde L corresponde a la longitud de la caña del bulón, que se obtiene de:

$$L = 0,5 + (T + T_{TOL+}) + (B_{ROTULA} + B_{TOL+}) + (L_{CPT3} + L_{TOL+}) + (K_{CFT1} + K_{TOL+}) + (<5> + <6>^+)$$

Ecuación 35

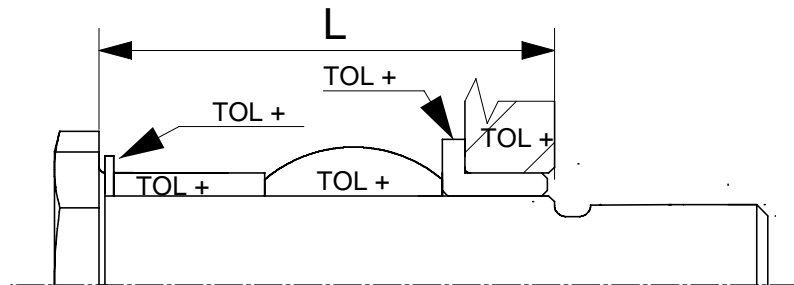


Figura 84 Longitud caña bulón

Podemos observar que se han utilizado la suma de las tolerancias positivas de cada uno de los elementos que se montan sobre la caña del bulón debido a que en el caso de ser el bulón más corto que el resto de los elementos que lo componen, parte del casquillo plano quedaría sin apoyar sobre la superficie del bulón (en el aire) Por lo tanto también estará redondeado al alza.

Como norma se tiene que insertar obligatoriamente una arandela en el lado de la cabeza del bulón y otra en el lado de la tuerca.

No se ha considerado la arandela del lado de la tuerca porque en cualquier caso diferente al más restrictivo siempre quedará un gap a llenar con una arandela, y de este modo se evitará el tener que introducir otra arandela o aumentar el espesor de la que ya teníamos, disminuyendo además la longitud del bulón.

Esta arandela por cálculo siempre será de espesor de superior al GAP, sabiendo que el GAP, por cálculo, nunca sobrepasará dicho valor máximo permitido en la norma.

En el caso de que los elementos de construcción hubieran quedado en línea con el final de la caña del bulón, la arandela del lado de la tuerca se añadirá de todos modos sobresaliendo todo su espesor.

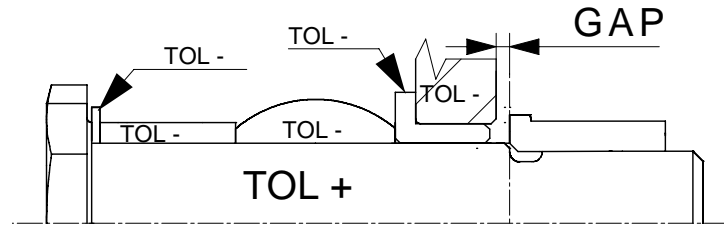


Figura 85 GAP máximo

$$GAP = L_{TOL+} - \left[(T_{TOL-} - T_{TOL+}) + (B_{TOL-} - B_{TOL+}) + (L_{TOL-} - L_{TOL+}) + (K_{CFT1} + K_{TOL+}) + (<5> + <6>) \right] < 1,6$$

Ecuación 36

GAP MAX	0,960
---------	-------

Tabla 96 GAP máximo

Si tuviéramos en cuenta el espesor de la arandela del lado de la tuerca para la obtención de la longitud del bulón, este GAP sobrepasaría ese valor de 1.6 teniendo que incluir en algunos casos una arandela extra o aumentar el espesor de la que ya tenemos y que no se podría saber hasta el momento del montaje.

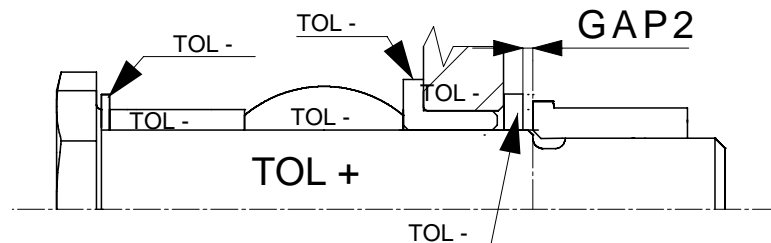


Figura 86 GAP máximo con arandela

$$GAP2 = L_{TOL+} - \left[(T_{TOL-} - T_{TOL+}) + (B_{TOL-} - B_{TOL+}) + (L_{TOL-} - L_{TOL+}) + (K_{CFT1} + K_{TOL+}) + (<5> + <6>) + (T_{TOL-} - T_{TOL+}) \right] > 1,6$$

Ecuación 37

- La longitud de la parte roscada en función de los datos iniciales insertados es:

LONGITUD ROSCA (G)	25
LONGITUD ROSCA TOL +	0,381
LONGITUD ROSCA TOL -	0

Tabla 97 Longitud rosca bulón

De donde G corresponde a la longitud de la parte roscada del bulón, que se obtiene de:

$$G = \left[(T_{L.T.} + T_{TOL+}) + (A_{TUERCA} + A_{TOL+}) + \frac{2 \cdot PR}{25,4} \right]$$

Ecuación 38

$T_{L.C.B.}$ = Espesor arandela del lado de la cabeza del bulón. Se definirá en el apartado de arandelas

$T_{L.T.}$ = Espesor arandela del lado de la tuerca. Se definirá en el apartado de arandelas

A_{TUERCA} y A_{TOL+} se definirá en el apartado de la tuerca almenada

PR = Paso de rosca; es el número de hilos de rosca por pulgada.

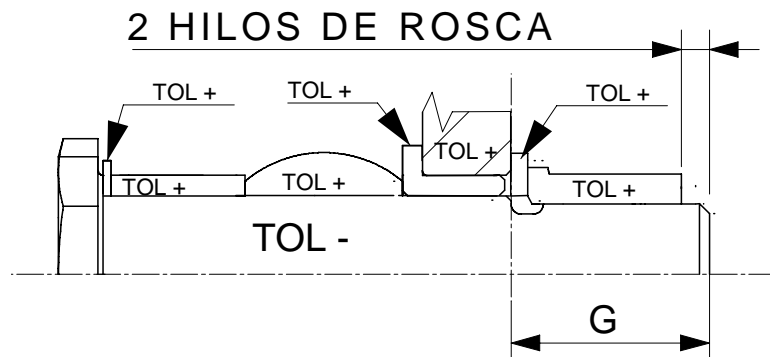


Figura 87 Longitud rosca bulón

La obtención de la longitud de la parte roscada del bulón, se calcula llevando todos los elementos que sobre esta van montados hacia la derecha (tolerancias positivas) y dejando dos hilos de rosca que es la distancia mínima a borde. En el caso contrario podría suceder que la tuerca sobrepasase la longitud de G sobresaliendo y no pudiendo dejar la distancia mínima de 2 hilos de rosca en el caso más desfavorable.

- La distancia del agujero de frenado en función de los datos iniciales insertados es:

E corresponde a la distancia del agujero de frenado, que se obtiene de:

$$E_{MAX} = (G + G_{TOL-}) - \left[(T_{L.T.} + T_{TOL+}) + (L_{TUERCA} + L_{TOL+}) + \frac{d + d_{TOL+}}{2} \right]$$

Ecuación 39

$$E_{MIN} = [G + G_{TOL+}] - [(T_{L.T.} + T_{TOL-} - GAP) + A_{TUERCA} + A_{TOL-}]$$

Ecuación 40

Para la obtención de la posición del agujero de frenado se tendrán que manejar dos casos a partir de los cuales se obtendrá un rango de distancias a partir de las cuales se puede situar el agujero de frenado en cualquier punto del mismo:

Distancia máxima(E_{MAX})

Caso en el que los elementos de construcción van al máximo y la rosca va al mínimo. Esto va a ocurrir cuando el casquillo zunchado está a la altura del fin de la caña del bulón y el espesor de la arandela insertada en el lado de la tuerca se encuentra dentro de la parte roscada. Por tanto le restamos a G la arandela, la longitud de la tuerca (solo hasta la zona almenada) y el radio del agujero de frenado con sus tolerancias positivas.

En este caso se tendrá que averiguar a qué distancia se puede situar el agujero de frenado para que se encuentre dentro de la zona almenada y no salga fuera de ella hacia el lado interior, imposibilitando la inserción del pasador al bloquearnos la entrada la zona no almenada de la tuerca.

Se redondeará a la baja para obtener la configuración más desfavorable.

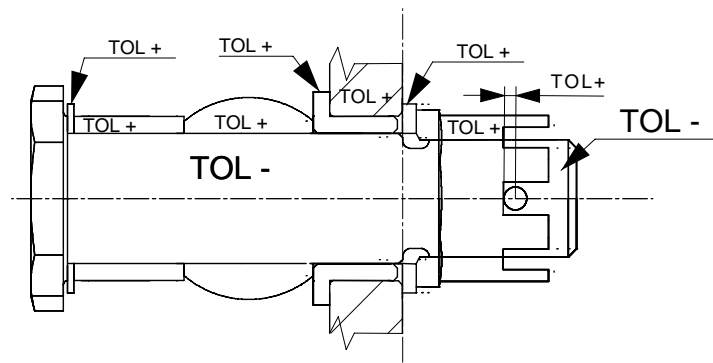


Figura 88 Distancia maxima agujero de frenado

Distancia mínima (E_{MIN})

Caso en el que los elementos de construcción van al mínimo y la rosca va al máximo. Esto va a ocurrir cuando sobresale el mínimo espesor de la arandela fuera del GAP definido anteriormente. Por tanto, para el cálculo de esta distancia mínima a la zona roscada se le tendrá que restar a la longitud de la zona roscada el valor del espesor de la arandela que sobresale fuera del gap (sería el valor mínimo que podría sobresalir la arandela) y la longitud de la tuerca.

En este caso el agujero puede sobresalir hasta la mitad respecto a la zona almenada.

Se redondeará al alza para obtener la configuración más desfavorable.

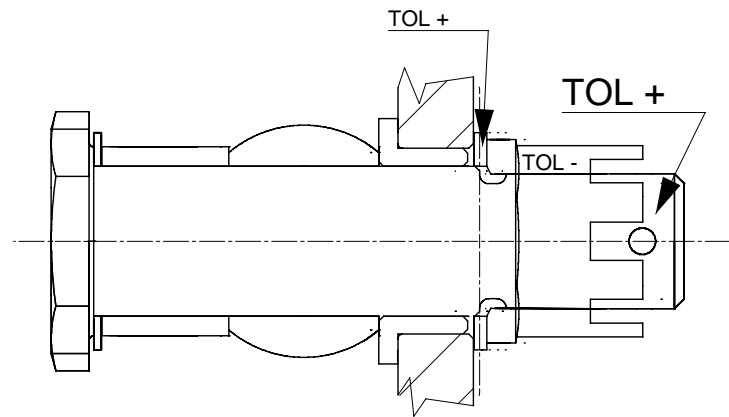


Figura 89 Distancia mínima agujero de frenado

Caso en el que $E_{MAX} \geq E_{MIN}$

En este caso quedaría completamente definido el bulón y no habría que hacer más cálculos que los ya hechos anteriormente.

Caso en el que $E_{MAX} < E_{MIN}$

En este caso, lo que ocurrirá es que se obtendrá un intervalo de tolerancias en el cual el posicionamiento del agujero de frenado que se encuentre dentro de las tolerancias máximas no se solapará EN NINGÚN CASO con el rango que tiene en las tolerancias mínimas de los elementos de construcción, no pudiendo por tanto situar en ningún “punto seguro” el agujero de frenado.

En este caso lo que se hará será añadir arandelas además de las que ya se hayan añadido dependiendo de las necesidades de la fabricación.

Este proceso se realizará en el caso de que el agujero de frenado quede fuera de la zona almenada, perdiendo esta todo su efecto; por lo tanto, solamente se añadirán en el caso en el que se requieran, despreciándose su uso en el caso de que el agujero de frenado quede situado dentro de la zona almenada.

Por cálculo, el intervalo de desplazamiento según tolerancias de la tuerca almenada es mucho menor que el intervalo que admiten las almenas para la inserción del pasador, por lo tanto este caso no ocurrirá nunca.

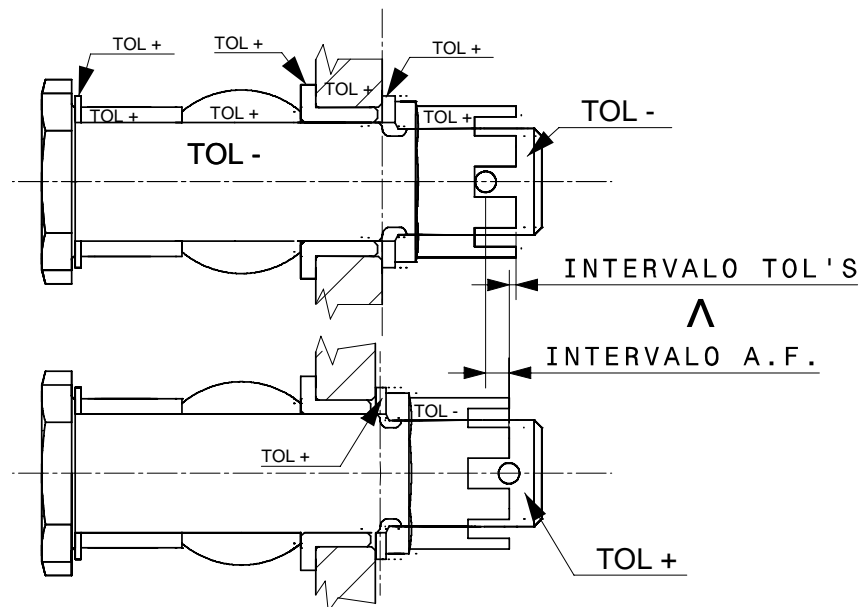


Figura 90 Intervalos para A.F.

Finalmente, se observa el valor final del posicionado del agujero de frenado. Este será la media del máximo y el mínimo para situarlo siempre en el punto medio de la almena.

		MAX	MIN
AGUJERO DE FRENADO (E)	INTERVALO	5,8	4,0
	Tol +	0,25	0,25
	Tol -	-0,25	-0,25
	POSICIÓN FINAL A.F.	4,9	

Tabla 98 Posicionamiento agujero de frenado

El bulón tendrá que ser fabricado ya que no hay ninguna bulón normalizado con dichas tolerancias. Se recuerda que estas tolerancias propias del bulón son debidas al juego equivalente al H7/g6 con la rótula.

NORMA BULON
FABRICADO

Tabla 99 Norma bulón

5.4.6. Tuerca almenada

La norma se corresponde con NSA5060

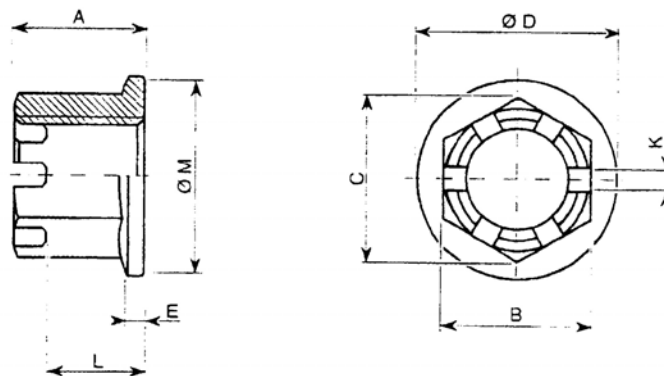


Figura 91 Dimensiones tuerca almenada

TUERCA ALMENADA									
CÓDIGO DE DIÁMETRO	ROSCA	A	B max	C ref	D max	E ref	K	L	M min
3	0,19	6,35	6,401	7,036	8,255	0,635	2,032	2,769	7,798
4	0,25	7,137	8,026	8,814	10,668	0,635	2,54	3,175	9,804
5	0,3125	8,331	9,601	10,642	13,208	1,397	2,54	4,369	12,243
6	0,375	10,312	11,176	12,471	14,708	1,778	3,937	5,562	14,198
7	0,4375	11,506	12,801	14,275	16,383	1,778	3,937	6,756	15,24
8	0,5	14,3	14,376	16,078	19,558	1,778	3,937	9,118	18,415
9	0,5625	15,468	17,576	19,685	21,59	2,032	4,724	9,931	20,7
10	0,625	18,262	19,177	21,488	23,114	2,286	4,724	11,912	22,225
12	0,75	20,65	22,352	25,069	28,702	2,54	4,724	14,3	27,813
14	0,875	23,012	25,927	28,707	34,163	3,048	4,724	16,662	33,02
16	1	25,4	28,707	32,308	39,243	3,048	4,724	19,05	38,1
18	1,125	29,36	31,88	35,916	44,323	3,556	4,724	20,65	43,18
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DIMENSIONES TUERCA ALMENADA									
CÓDIGO DE DIÁMETRO	ROSCA	A	B max	C ref	D max	E ref	K	L	M min
12	0,75	20,65	22,352	25,069	28,702	2,54	4,724	14,3	27,813
Tol +	-	-	0,38	-	-	-	-	0,4	-
Tol -	-	-	-0,38	-	-	-	-	-0,4	-

Tabla 100 Dimensiones tuerca almenada

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones de la tuerca almenada, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

Para la obtención final del código de designación que definirá la tuerca almenada, se tendrán que definir los siguientes datos:

MATERIAL Y PROTECCIÓN	
CRES pasivado	

Tabla 101 Selección material y protección tuerca almenada
que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL Y PROTECCIÓN		
Acero cadmiado		
CRES plateado	C	E
CRES pasivado	E	

Tabla 102 Materiales y protecciones tuerca almenada

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA TUERCA ALMENADA
NSA5060E14

Tabla 103 Norma tuerca almenada

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	NSA5060	E	14
Número de pieza			
Material y protección			
Código de diámetro			

Tabla 104 Código de designación tuerca almenada

5.4.7. Arandelas

La norma se corresponde con NAS1149

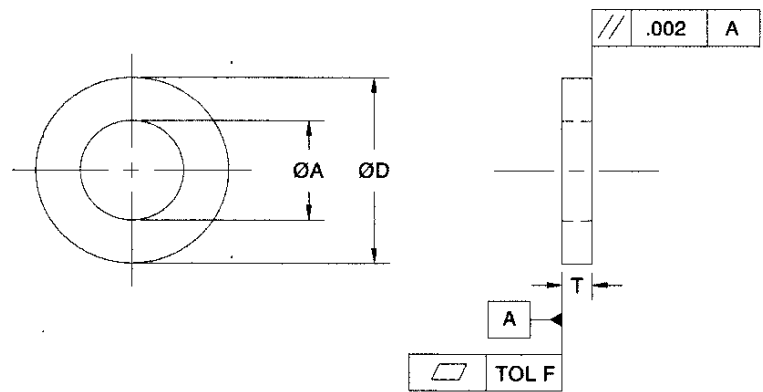


Figura 92 Dimensiones arandela

ARANDELA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	DIÁMETRO NOMINAL	A	D
	3	4,820	5,156	11,125
	4	6,350	6,731	12,700
	5	7,925	8,331	14,275
	6	9,525	9,906	15,875
	7	11,100	11,506	19,050
	8	12,700	13,081	22,225
	9	14,275	14,681	26,975
	10	15,875	16,256	30,175
	12	19,050	19,431	33,325
	14	22,225	22,606	38,100
	16	25,400	25,781	44,450
	18	28,575	27,381	46,025
	20	31,750	31,750	50,800
	22	-	-	-
	24	38,100	38,481	57,150
	28	-	-	-
DIMENSIONES ARANDELA				
	CÓDIGO DE DIÁMETRO	DIÁMETRO NOMINAL	A	D
	12	19,05	19,431	33,3248
Tol +	-	-	0,254	0,508
Tol -	-	-	-0,254	0

Tabla 105 Dimensiones arandela

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones de la arandela, obteniendo uno u otro en función del código de diámetro de la rótula.

En toda unión de un solo pasador se han de incluir dos arandelas como mínimo, una en el lado de la cabeza del bulón y otra en el lado de la tuerca.

Como su función en un primer momento es la de proteger a los elementos constructivos que están en contacto directo con el par de apriete se definirá por defecto un espesor pequeño ya que su función es únicamente la de proteger.

Aquí se muestran los valores de los espesores de las dos arandelas a introducir en la unión. Para escoger el espesor de la arandela se escoge el valor inmediatamente superior al gap que nos quedaba entre el casquillo plano y el comienzo de la rosca.

ARANDELA L.C. BULÓN	0,813
Tol +	0,1
Tol -	-0,1
ARANDELA L. TUERCA	2,286
Tol +	0,21
Tol -	-0,21

Tabla 106 Espesores arandelas

Por último, para la obtención final de los códigos de designación que definirán las arandelas, se tendrán que definir los siguientes datos que serán comunes para todas las arandelas:

MATERIAL	PROTECCIÓN
CRES (301)	Pasivado

Tabla 107 Selección material y protección arandelas

que se obtendrán de esta otra tabla:

MATERIAL	
Aleación de acero (4130)	G
Aleación de aluminio (2024-T3)	D
Aleación de aluminio (2024-T81)	A
Latón (Aleación de cobre NO. 260)	B
Acero al carbono (1020 OR 1025)	F
CRES (301)	C
CRES (A286)	E
Titanio puro	T
Titanio (6AL-4V Aleación)	V

PROTECCIÓN	
Black oxide	B
Sin protección	H
Tratamiento químico	J
Anodizado	K
Anodizado azul	L
Anodizado azul-violeta	M
Or dyed	N
Cadmiado	P
Pasivado	R

Tabla 108 Materiales y protecciones arandelas

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en sus códigos de designación:

NORMA ARANDELA L.C.B.	NORMA ARANDELA L.T.
NAS11491232V	NAS11491290V

Tabla 109 Norma arandelas

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

NAS1149	C	5	49	R
Número de pieza				
Tolerancia de ajuste				
Código de diámetro				
Espesor (pulgadas·10 ³)				
Protección				

Tabla 110 Códigos de designación norma arandelas

5.4.8. Pasador

La norma se corresponde con MS24665

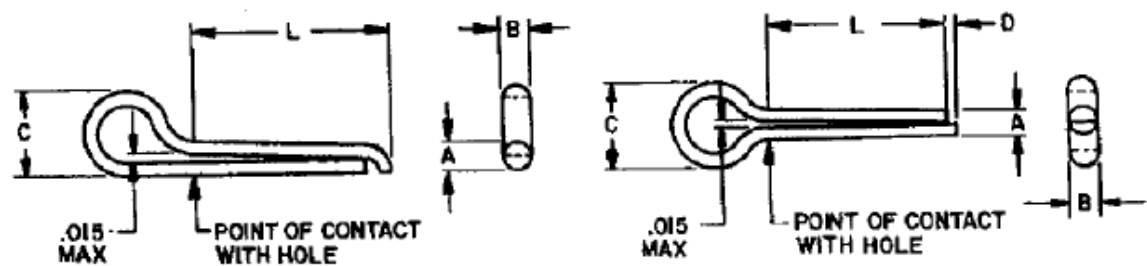


Figura 93 Dimensiones pasador

PASADOR (CRES)										
TAMAÑO DE AGUJERO RECOMENDADO	CÓDIGO	TAMAÑO	A max	A min	B max	B min	C	D		TAMAÑO Y CÓDIGO
1,98	155	1,59	1,52	1,42	1,52	1,12	3,05	0,76	LONG	1,59 2,38 3,18
2,77	302	2,38	2,29	2,18	2,29	1,75	4,83	1,02	12,7	170 315 383
3,58	374	3,18	3,05	2,92	3,05	2,36	6,35	1,52	19,05	172 317 385
									25,4	174 319 387
									31,75	176 321 389
									38,1	178 323 391
									44,45	180 325 393
									50,8	181 326 394
									57,15	327 395
									63,5	182 328 396
									69,85	
									76,2	183 329 397

LONGITUD ESTIMADA PASADOR

42,62

DIMENSIONES PASADOR										
TAMAÑO DE AGUJERO RECOMENDADO	CÓDIGO	TAMAÑO	A max	A min	B max	B min	C	D	LONG	TAMAÑO Y CÓDIGO
3,58	374	3,18	3,05	2,92	3,05	2,36	6,35	1,52	38,1	393
Tol +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tol -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 111 Dimensiones pasador

Estos son los datos iniciales que se manejan para la obtención de las dimensiones del pasador, obteniendo uno u otro en función del diámetro “d” del agujero de frenado del bulón.

- Relación entre “d” del bulón y tamaño de agujero recomendado:

Se puede observar que los diámetros del agujero definidos en el bulón “d” y los definidos en esta norma (Tamaño de agujero recomendado) son diferentes, por lo que se aproximará el tamaño del agujero definido en el bulón a su valor correspondiente más cercano, siempre eligiendo el inmediatamente superior y teniendo en cuenta que el tamaño del pasador sea menor que “d”.

La relación entre los agujeros de frenado “d” y los tamaños recomendados del agujero de frenado es:

TAMAÑO AGUJERO RECOMENDADO		
1,78	1,98	3,58
1,93	1,98	
2,69	2,77	
3,58	3,58	

Tabla 112 Tamaño agujero recomendado

En este caso al tener un diámetro $d = 3,58$, el tamaño de agujero recomendado será de 3,58.

- Obtención de la longitud del pasador:

Podemos observar que el tamaño de la cabeza del pasador ($C=6,35$) es mayor que la distancia entre almenas ($K=4,724$), por lo tanto la cabeza del pasador apoyará contra la tuerca almenada y no contra el propio agujero de frenado. Por lo tanto, para elegir una longitud adecuada en la norma, se define L:

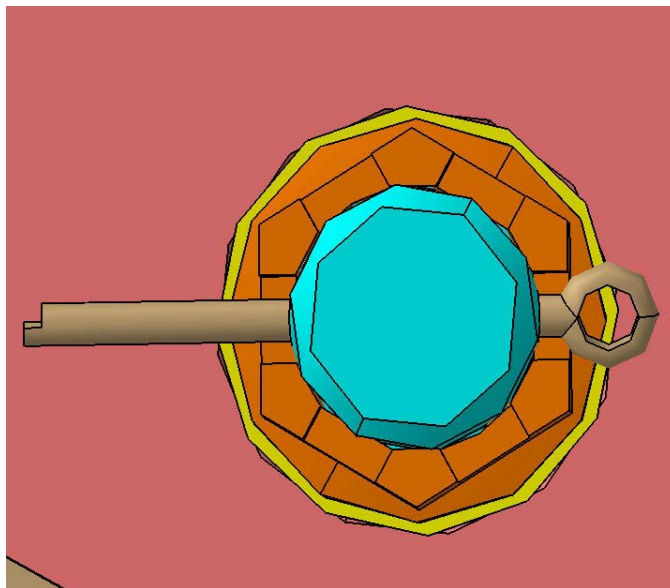


Figura 94 Vista 3D pasador

Una vez colocado el pasador en el agujero de frenado se procederá al doblado del mismo.

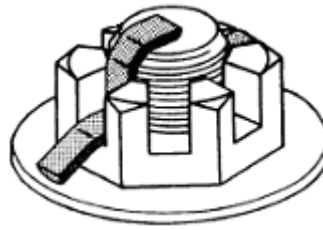


Figura 95 Longitud correcta pasador

La longitud del pasador vendrá definida por:

$$L_{PASADOR} = B \max_{TUERCA} + A_{TUERCA} + A_{TOL-}$$

Ecuación 41

A partir de esta fórmula se obtiene la longitud del pasador estimada que el programa adecuará a la norma, siempre eligiendo el valor inferior más cercano:

LONGITUD ESTIMADA PASADOR	42,62
---------------------------	-------

Tabla 113 Longitud estimada pasador

Para la obtención de esta longitud obsérvese que los valores obtenidos corresponden a los mínimos redondeando siempre a la baja. Esto es debido a que la longitud de la aleta inferior del pasador, deberá ser tal que no sobresalga de la base de la tuerca o arandela con el fin de evitar arañazos y prevenir la corrosión galvánica producida por su contacto con el metal base donde va instalado el tornillo o bulón. (Ver I+D-P-376)

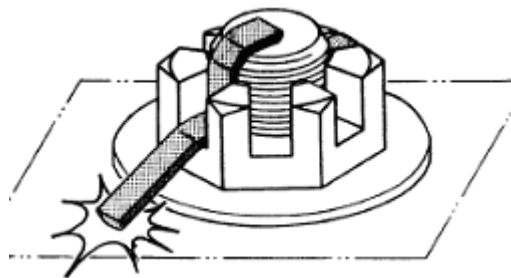


Figura 96 Longitud incorrecta pasador

En este caso mirando la tabla de la norma se obtendrá la longitud inmediatamente inferior y su código que será el que definirá el pasador:

LONGITUD PASADOR	38,1
------------------	------

Tabla 114 Longitud pasador

Finalmente, el programa introduce los datos obtenidos en su código de designación:

NORMA PASADOR
MS24665-374

Tabla 115 Norma pasador

Donde cada uno de los datos del mismo corresponde a:

	MS24665	374
Número de pieza		
Número de longitud		

Tabla 116 Código de designación norma pasador

6. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de este programa realizado en Excel se ha conseguido simplificar el proceso de diseño de la unión para posteriores diseño de estructuras que lo requieran (ya sea deslizante o pinzada en una orejeta)

A pesar de la aparente complejidad del programa, se ha conseguido simplificar notablemente el diseño de las uniones deslizantes y las pinzadas en una orejeta.

Su función será muy importante ya que servirá para diseñar de manera rápida y eficiente cualquier unión que requiera cualquier tipo de movimiento relativo y que esté sometida a cargas laterales.

La estandarización de estas uniones facilitará la tarea del diseñador a la hora de definir las variables correspondientes a la unión que tenga que diseñar, obteniendo directamente y sin cálculos las normas a entregar al distribuidor para que este le suministre las piezas.

Al poder definir los diferentes materiales y protecciones de los elementos de construcción, el diseñador tendrá una mayor libertad y facilidad para modificarlos. Dicha modificación se realizará en el caso en que los herrajes sean de materiales incompatibles con los que aparecen por defecto en los elementos que van apoyados sobre estos.

En cuanto al tiempo de diseño, con este programa se ha conseguido reducir el tiempo que necesita el diseñador para dimensionar toda la unión. El tiempo empleado consistirá simplemente en el requerido para introducir los datos iniciales en sus respectivos campos, evitándose por tanto tener que buscar en normas y en notas técnicas cada uno de los elementos por separado. De este modo, el tiempo estimado para dimensionar una unión pasa de más de 30 minutos a unos pocos minutos.

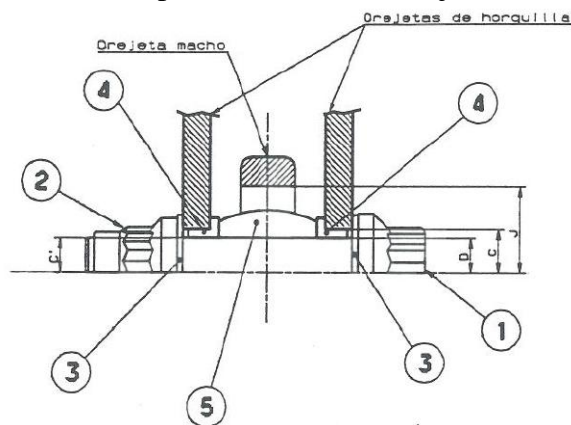
7. DESARROLLOS FUTUROS

La creación de este programa constituye un precedente en el diseño ya que nunca antes se había estandarizado una unión a partir de una serie de datos variables en esta empresa.

Debido a esto, y mediante principios de diseño ya existentes, se podrán en un futuro (si se requiere) aplicar un tratamiento similar a otros tipos de uniones como las que se muestran a continuación:

Dentro de aquellas uniones autoalineables (con rótula) como las dos usadas en este programa:

Unión pinzada en las dos orejetas

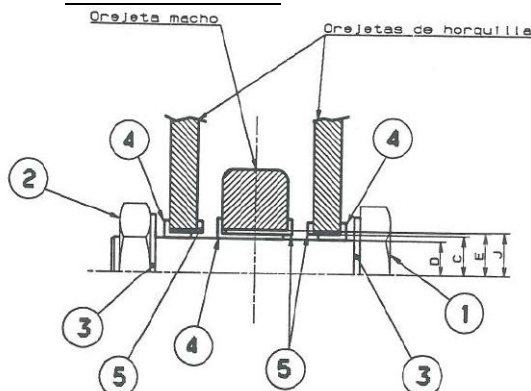


- (1) Bulón
- (2) Tuerca
- (3) Arandela
- (4) Casquillo con faldilla pinzado
- (5) Rótula

Figura 97 Unión autoalineable pinzada en las dos orejetas

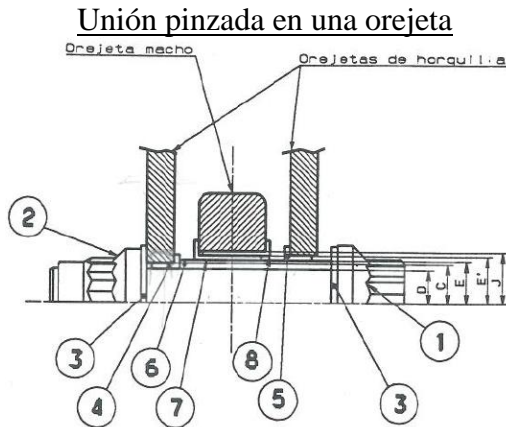
También se podrá hacer un tratamiento similar a algunas uniones no autoalineables (sin rótula), como son:

Unión deslizante



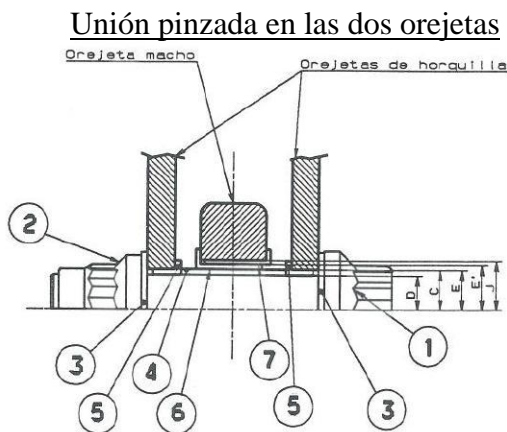
- (1) Bulón
- (2) Tuerca
- (3) Arandela
- (4) Casquillo interior con faldilla
- (5) Casquillo exterior con faldilla

Figura 98 Unión no autoalineable deslizante



- (1) Bulón
- (2) Tuerca
- (3) Arandela
- (4) Casquillo con faldilla pinzado
- (5) Casquillo con faldilla no pinzado
- (6) Casquillo plano pinzado
- (7) Casquillo interior orejeta macho
- (8) Casquillo exterior orejeta macho

Figura 99 Unión no autoalineable pinzada en una orejeta



- (1) Bulón
- (2) Tuerca
- (3) Arandela
- (4) Casquillo plano pinzado
- (5) Casquillo con faldilla pinzado
- (6) Casquillo interior orejeta macho
- (7) Casquillo exterior orejeta macho

Figura 100 Unión no autoalineable pinzada en las dos orejetas

En este futuro desarrollo habría que identificar todas las partes de las nuevas uniones, añadiendo así al nuevo programa todos aquellos elementos que conforman cada una de estas, y dimensionándolas de un modo similar a como se hizo en el programa ya definido.

En cuanto a la nueva unión autoalineable (con rótula), habría que poner otro casquillo con faldilla pinzado en la orejeta hembra como el que ya se definió en la unión pinzada en una orejeta.

Respecto a las nuevas uniones no autoalineables (sin rótula), habría que definir cuáles serían los parámetros iniciales a tener en cuenta para definir la unión (al no tener rótula, el código de diámetro de la rótula ya no se puede usar como dato inicial), así como dimensionar y chequear los nuevos casquillos que irían apoyados sobre la orejeta macho, que no se han tenido que considerar en el programa propuesto.

Otro desarrollo a tener en cuenta, consistiría en la normalización de los bulones que utilizamos en estas uniones (al ser fabricados, se incrementa notablemente el coste de la unión)

También se podría tener en cuenta en un futuro desarrollar otra norma para la tuerca almenada, ya que esta no contempla casos con grandes diámetros. Esta nueva norma debe tener en cuenta casos de tuercas con diámetros superiores a los que ya se tienen en esta norma, pudiéndose conseguir dimensionar uniones de mayor diámetro.

8. BIBLIOGRAFÍA

- URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Acoplamiento_Mec%C3%A1nico.
Fecha de última revisión: 19/02/2009
- DIN 7157 ➔ Tolerancias de ajuste
- DIN 7160 ➔ Tolerancias de ajuste ejes
- DIN 7161 ➔ Tolerancias de ajuste taladros
- NT-A4-ANC-03050 ➔ Nota técnica de estándares para el A400-M*
- Uniones de un solo pasador. López Díez, Alberto; Gil Castro, Juan Pablo*
- I+D-P-366 ➔ Instalación de casquillos en montajes con interferencia*
- I+D-P-376 ➔ Frenado de piezas con pasadores de aletas*
- CAN 64211 ➔ Norma de referencia para nueva norma casquillos con faldilla*
- CAN 64212 ➔ Norma de referencia para nueva norma casquillos planos*
- CAN 64213 ➔ Norma de referencia para nueva norma casquillos con faldilla*
- EN 4538-3 ➔ Norma rótula laminada*
- NSA 5042 ➔ Norma cabeza bulón*
- NSA 2000 ➔ Norma fin de rosca*
- NSA 5060 ➔ Norma tuerca almenada*
- NAS 1149 ➔ Norma arandela*
- MS 24665 ➔ Norma pasador*

Nota: Los documentos y normas aquí referenciados que tienen * son de régimen interno de EADS-CASA